

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод задвижки нефтепровода</b>

УДК 62-83-523:622.692.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова А.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Ивачеву Ивану Сергеевичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод задвижки нефтепровода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации на задвижку
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Подробное изучение технологического процесса, выбор двигателя, частотного преобразователя, исследование динамической модели АД во вращающейся системе координат, оптимизация контуров регулирования, исследование электропривода на модели нелинейного асинхронного электропривода с векторным управлением на базе модели АД во вращающейся системе координат.
<b>Перечень графического материала</b>	Кинематическая схема Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода Структурная схема ЭП с векторным управлением Схема имитационной модели электропривода Переходные процессы асинхронного электропривода с векторным управлением

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г
---	-------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		05.04.2019г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич		05.04.2019г

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

**Бакалаврская работа**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

#### СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		

#### СОГЛАСОВАНО:

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

## **Реферат.**

Представленная выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 21 таблиц, 39 рисунков, 20 источников литературы

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросам разработки и исследования электропривода заслонки нефтепровода.

Ключевые слова: ЗАСЛОНКА, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

В работе произведен выбор асинхронного двигателя, преобразователя частоты и способа управления. Проведены имитационные исследования разработанного электропривода в основных технологических режимах.

Работа выполнена с использованием пакета программ: *MathCAD*, *WinDora*, *MS Office*.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать электропривод заслонки нефтепровода, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и условиям:

- нагрузка постоянная, реактивная по характеру;
- диапазон регулирования скорости 1000;
- точность регулирования положения 0.01%;
- повышенная перегрузочная способность;
- управление электроприводом с автоматизированного рабочего места
- сигнал управления – цифровой;
- бесперебойная работа электропривода должна обеспечиваться за счет высокой надежности аппаратных средств и правильной эксплуатации;
- все элементы, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного соприкосновения, а также заземления или зануления в соответствии с ГОСТ 12.1030-81;
- требования по безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ 25.861-83;
- питающая сеть 380 В, 50 Гц

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	10
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС .....	12
1.1 Обоснование выбора принципа регулирования давления .....	13
1.2 Выбор регулирующей заслонки .....	14
1.3 Описание заслонки <i>Vanessa</i> 30.000 .....	15
1.4 Функциональная схема системы автоматического регулирования давления .....	17
2 ПРОЕКТНО – РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ .....	22
2.1 Выбор электродвигателя .....	22
2.2 Выбор и обоснование системы управления электроприводом .....	26
2.3 Выбор преобразователя частоты .....	28
2.4. Анализ линеаризованной САУ РЭП .....	32
2.4.1. Структурная схема силового канала электропривода .....	32
2.4.2. Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением .....	34
2.5. Оптимизация контуров регулирования .....	37
2.5.1 Оптимизация САР потокосцепления .....	37
2.5.2 Оптимизация САР скорости .....	43
2.6 Исследование нелинейной САУ РЭП .....	47
2.7 Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода .....	49
2.8 Разработка контура положения .....	54
2.8.1 Оптимизация контура положения .....	54
2.8.2 Определение параметров задатчика положения .....	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» .....	69
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 70	70
3.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода задвижки нефтепровода ... 70	70
3.2 Планирование технического проекта .....	74
3.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования 74	74
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	76
3.3 Составление сметы технического проекта .....	78
3.3.1 Расчет материальных затрат .....	78
3.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР .....	79
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	80
3.3.4 Накладные расходы .....	81
3.3.5 Формирование сметы технического проекта .....	81
3.4 Определение ресурсоэффективности проекта .....	82
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ» .....	85
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	87
4.1 Правовые организационные мероприятия .....	87
4.2 Производственная безопасность .....	90
4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	91



4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды .....	93
4.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	94
4.3 Экологическая безопасность.....	97
4.4 Причины ЧС и меры способствующие предотвращению ЧС .....	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	102
Список используемой литературы .....	104

## ВВЕДЕНИЕ

Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии (двигателя), силового преобразователя и устройства управления. Он обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. В настоящее время уже более 60% всей вырабатываемой в мире электрической энергии потребляется электрическими двигателями. Следовательно, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современной техники.

В последнее время было освоено промышленное производство биполярных транзисторов с изолированным затвором (*IGBT*), силовых модулей на их основе (стойки и целые инверторы), а также силовых интеллектуальных модулей (*IPM*) с встроенными средствами защиты ключей и интерфейсами для непосредственного подключения к микропроцессорным системам управления. Рост степени интеграции в микропроцессорной технике и переход от микропроцессоров к микроконтроллерам с встроенным набором специализированных периферийных устройств, сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления

Под прямым цифровым управлением понимается не только непосредственное управление от микроконтроллера каждым ключом силового преобразователя (инвертора и управляемого выпрямителя, если он есть), но и обеспечение возможности прямого ввода в микроконтроллер сигналов различных обратных связей (независимо от типа сигнала: дискретный, аналоговый или импульсный) с последующей программно-аппаратной

обработкой внутри микроконтроллера. Таким образом, система прямого цифрового управления ориентирована на отказ от значительного числа дополнительных интерфейсных плат и создание одноплатных контроллеров управления приводами. В пределе встроенная система управления проектируется как однокристалльная и вместе с силовым преобразователем и исполнительным двигателем конструктивно интегрируется в одно целое мехатронный модуль движения.

Анализ продукции ведущих мировых производителей систем привода и материалов опубликованных научных исследований в этой области позволяет отметить следующие тенденции развития электропривода:

- неуклонно снижается доля систем привода с двигателями постоянного тока и увеличивается доля систем привода с двигателями переменного тока. Это связано с низкой надежностью механического коллектора и более высокой стоимостью коллекторных двигателей постоянного тока по сравнению с двигателями переменного тока. По прогнозам специалистов доля приводов постоянного тока сократится до 10% от общего числа приводов;

- преимущественное применение в настоящее время имеют привода с короткозамкнутыми асинхронными двигателями. Большинство таких приводов (около 80%) нерегулируемые. В связи с резким удешевлением статических преобразователей частоты доля частотно-регулируемых асинхронных электроприводов быстро увеличивается.

## 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Нефтеперекачивающие станции (НПС) располагаются на нефтепроводах с интервалом 70 – 150 км. Перекачивающие (насосные) станции нефтепроводов и нефтепродуктопроводов оборудуются центробежными насосами с электроприводом. Подача применяемых в настоящее время магистральных насосов достигает 12500 м<sup>3</sup>/ч. В начале нефтепровода находится головная нефтеперекачивающая станция (ГНПС), которая располагается вблизи нефтяного промысла или в конце подводящих трубопроводов, если магистральный нефтепровод обслуживают несколько промыслов или один промысел, разбросанный на большой территории, ГНПС отличается от промежуточных наличием резервуарного парка объемом, равным двух-, трехсуточной пропускной способности нефтепровода. На выходе НПС, как правило, устанавливается система автоматического регулирования давления, основное назначение которой состоит в поддержании заданного давления.

Если длина нефтепровода превышает 800 км, его разбивают на эксплуатационные участки длиной 100 – 300 км, в пределах которых возможна независимая работа насосного оборудования. Промежуточные насосные станции на границах участков должны располагать резервуарным парком объемом, равным 0.3 – 1.5 суточной пропускной способности трубопровода. Как головная, так и промежуточные насосные станции с резервуарными парками оборудуются подпорными насосами.

Кроме основных объектов, на каждой насосной станции имеется комплекс вспомогательных сооружений: трансформаторная подстанция, снижающая подаваемое по линии электропередачи (ЛЭП) напряжения от 110 или 35 кВ до 6 кВ, котельная, а также системы водоснабжения, канализации, охлаждения и т.д.

Конечный пункт нефтепровода – либо сырьевой парк нефтеперерабатывающего завода, либо перевалочная нефтебаза.

## **1.1 Обоснование выбора принципа регулирования давления**

### ***Системы с изменяемой частотой вращения вала насоса***

Наиболее полно отвечают требованиям к качеству регулирования системы с изменяемой частотой вращения вала насоса. Эти системы используют частотное регулирование скорости электродвигателя насоса или различного рода гидротрансформаторы (муфты), включаемые между валами двигателя и насоса. Наряду с очевидными преимуществами (насос развивает именно то давление, которое необходимо), эти системы обладают серьезными недостатками – низким КПД и высокой стоимостью.

### ***Регулирование перепуском***

В этом случае снижение развиваемого насосами давления осуществляется за счет создания дополнительного расхода (перепуска) с выхода на прием насосной станции (насоса). Регулирование перепуска осуществляется регулирующими клапаном, установленным на дополнительной линии небольшого сечения. Преимущество этого принципа состоит в том, что давление, развиваемое насосной станцией, равно заданному. Вместе с тем, из-за увеличения расхода и совершаемой насосами работы существенно возрастает количество потребляемой электродвигателями насосов электроэнергии. Кроме того, регулирующие клапаны должны работать на больших перепадах давления. Также, высоки требования к герметичности клапана в закрытом состоянии.

### ***Регулирование дросселированием***

Снижение давления на выходе насосной станции в этом случае осуществляется регулирующими клапанами, вносящими дополнительное сопротивление потоку жидкости. Для этого способа необходимо наличие технологического запаса (на дросселирование) по давлению на выходе насосной станции относительно максимально допустимого давления в последующем трубопроводе. Этот способ регулирования давления получил

наибольшее распространение в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов.

Исходя из изложенного, наиболее целесообразно осуществлять поддержку и регулирование давления дросселированием. В соответствии с этим, технологически и экономически эффективным представляется управление положением заслонки на выходе нефтеперекачивающей станции.

## 1.2 Выбор регулирующей заслонки

Основные требования, предъявляемые к дросселирующей арматуре:

- высокая пропускная способность в открытом состоянии;
- допустимый перепад давления, равный, как минимум, половине дифференциального давления одного насоса;
- плавная регулировочная характеристика (линейная или равнопроцентная) и широкий диапазон регулирования;
- малое время хода;
- малый крутящий (перемещающий) момент;
- низкий уровень шума;
- высокий уровень герметичности в закрытом состоянии, что является скорее недостатком, чем достоинством для регулирования способом дросселирования;
- высокая износостойкость и низкие эксплуатационные расходы.

В АК «Транснефть» значение перепада давления на полностью открытой арматуре при максимальном расходе задано жестко – не более  $0.25 \text{ кгс/см}^2$ . Для значения расхода  $1000 \text{ м}^3$  в час значение  $K_V$  (текучесть воды при  $15^\circ\text{C}$  в  $\text{м}^3/\text{ч}$  и перепаде давления в 1 бар при неизменных условиях внутри заслонки) арматуры должно быть в таком случае порядка  $2000 \text{ м}^3$  в час для работы одним регулятором или  $1000 \text{ м}^3$  в час при работе двумя параллельно. Этим условиям удовлетворяют поворотные заслонки *Vanessa* серии 30.000, габариты которой приведены в таблице 1 [1].

### 1.3 Описание заслонки *Vanessa* 30.000

Заслонка (см. рисунки 1, 2) имеет следующие характеристики [1]:

- моментное упругое уплотнение обеспечивает нулевую утечку жидкости;
- специальное седло клапана обеспечивает постоянное би-направленное действие с нулевой утечкой;
- дизайн с отсутствием трения при 90° повороте достигается уникальной геометрией тройного смещения полностью исключая трение во всех опорных поверхностях;
- благодаря примененному *Stellite®* стандарту по упрочнению седла клапана расширился круг использования *Vanessa*, ее срок эксплуатации и обслуживание;
- монолитный корпус с обращенными друг к другу поверхностями в соответствии с *ISO 5752*, *ASME B16.10* и *API 609* обеспечивает взаимозаменяемость дроссельной заслонки, втулки и других клапанов для упрощенной и более гибкой установки;
- полностью металлическая конструкция и уплотнения, нулевая утечка делают *Vanessa* по своей сути взрывозащищенным устройством;
- длинномерные закаленные подшипники, включающие стандартное внутреннее усиление, специальный графитовый протектор подшипников обеспечивают дополнительную надежность;
- внутренне и внешне удерживаемый, закаленный тройным дутьем шток, стал более безопасным в эксплуатации и обеспечивает полную совместимость с *API 609*;
- встроенные индикаторы положения на штоке и фланце реализовывают индикацию положения диска



Рисунок 1 – Заслонка *Vanessa* 30.000



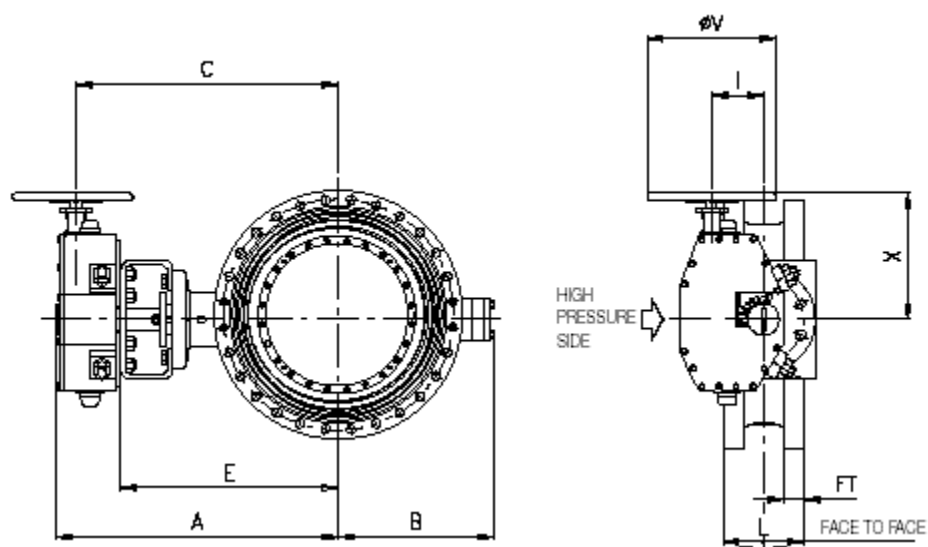


Рисунок 2 – Габариты заслонки *Vanessa 30.000*

Таблица 1 – Габариты заслонки

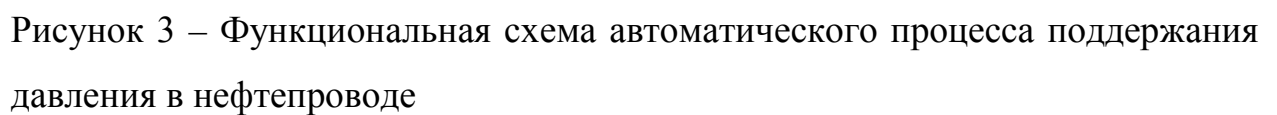
Диаметр, мм	Измерения заслонки, мм										Масса, кг
	A	B	E	L	FT	Тип	C	I	X	V	Заслонки
800	1143	640	888	318	81	Maga 1000C- 90	1069	200	500	450	1165

#### 1.4 Функциональная схема системы автоматического регулирования давления

Система автоматического регулирования (САР) давления НПС (нефтеперекачивающей станции) предназначена для поддержания давления на входе магистральной насосной станции (МНС) не менее уставочного значения, обеспечивающего кавитационный запас, и давления на выходе МНС не более уставочного значения, обеспечивающего сохранность трубопровода и/или требования режима перекачки нефтепродуктов, а также для снижения нагрузки на электродвигатели магистральных насосных агрегатов при пусках.

Регулирование осуществляется с помощью поворотных заслонок, установленных на выходе МНС. Управление заслонками осуществляется

Функциональная схема системы автоматического давления представлена на рисунке 3.



Регулирование осуществляется по следующим контурам:

- по давлению на входе МНС, таким образом, чтобы не допустить снижения давления ниже уставки и обеспечить при этом максимально возможный расход по трубопроводу;
- по давлению на выходе МНС, таким образом, чтобы не допустить повышения давления выше уставки и обеспечить при этом максимально возможный расход по трубопроводу;
- по перепаду давления на регулирующем клапане, таким образом, чтобы поддерживать перепад давления на клапане равным уставке, независимо от расхода по трубопроводу;
- по положению регулирующего клапана, таким образом, чтобы установить клапан в положение равное уставке, независимо от расхода по трубопроводу.

Выбор контуров регулирования и дополнительных функций осуществляется в соответствии с назначенным для регулирующего клапана режимом управления.

Регулирование давления на приеме и на выходе перекачивающих насосных магистральных нефтепроводов  $D_y = 800$  мм.

Система использует регулирующие заслонки с электрическим приводом для регулирования давления на приеме и на выходе нефтепроводов методом дросселирования потока на выходе.

***Регулируемая среда – нефть, с параметрами:***

- рабочая температура: от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ;
- вязкость при рабочей температуре: от  $0.05 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-4}$   $\text{м}^2/\text{с}$ ;
- плотность: от 0.7 до 0.9  $\text{т}/\text{м}^3$ ;
- содержание серы (связанной): до 9.5% по массе;
- содержание парафина: до 7% по массе;
- содержание механических примесей: до 0.06% по массе.

### ***Окружающая среда:***

– заслонки с электроприводом и шкафы с датчиками пригодны для установки на открытом воздухе в климатических районах, имеющих абсолютный минимум температуры:  $-50^{\circ}\text{C}$  и абсолютный максимум температуры:  $50^{\circ}\text{C}$ .

– в окружающем воздухе могут находиться пары нефти категории ПА группы ТЗ, поэтому электроприводы, датчики и любое другое электрическое или электронное оборудование поставляется во взрывоопасном исполнении, пригодном для установки в зоне класса I, раздел I, группа IIВТЗ в соответствии с Европейскими нормами *EN 50014* и *50018*.

Электронные датчики будут помещены в специальные отапливаемые шкафы:

- температура окружающей среды от  $18^{\circ}\text{C}$  до  $28^{\circ}\text{C}$ ;
- влажность от 40% до 70%;
- допускается понижение температуры окружающей среды до  $5^{\circ}\text{C}$ , которая не повлияет на четкость функционирования электронных приборов.

### ***Кинематическая схема механизма***

Электрический привод для нефтепровода  $D_y = 800$  мм состоит из многооборотного электропривода, смонтированного на червячном редукторе в четверть оборота (см. рисунок 4). Понижение крутящего момента многооборотного электропривода осуществляется в 2 ступени:

- I – через пару цилиндрических шестерен;
- II – через червяк с червячным колесом.

Понижение крутящего момента червячного редуктора в  $1/4$  оборота осуществляется в одну ступень: через соединение червяка с червячным колесом. В последней ступени редукционной передачи укреплен втулка, которая находится в зацеплении с валом заслонки. Все компоненты

редукционной передачи прошли аккуратную обработку и термическую закалку для обеспечения сложного цикла регулировки.

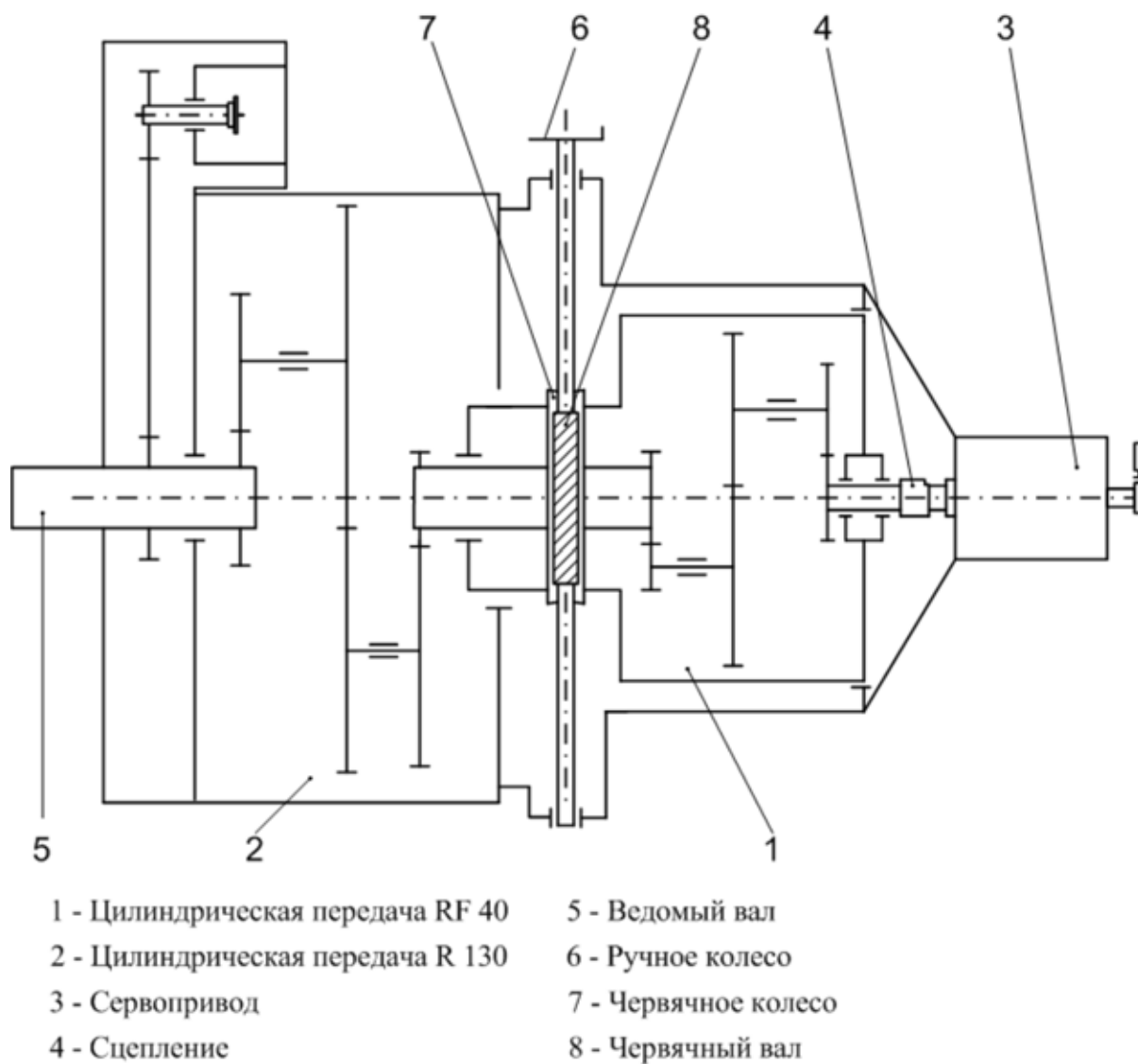


Рисунок 4 – Кинематическая схема редуктора

При повреждении мотора или отсутствии энергосбережения электропривод может быть запущен вручную при повороте рычага и последующем вращении маховичка. В нормальных условиях работы электропривода рычаг находится в нейтральном положении, а маховичок неподвижен.

При восстановлении энергосбережения на электропривод, рычаг самопроизвольно возвращается в свое нейтральное положение, при одновременном отключении маховичка, без всякой опасности для оператора.

Структурная схема механической системы представлена на рисунке 5.

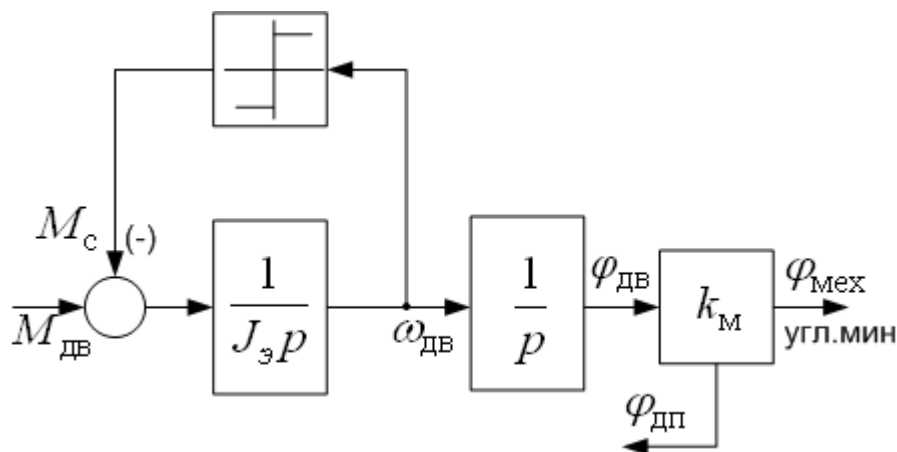


Рисунок 5 – Структурная схема механической системы

## 2 ПРОЕКТНО – РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Выбор электродвигателя

В частотно – регулируемых приводах традиционно и чаще всего продолжают использоваться нерегулируемые двигатели общего применения, рассчитанные на питание от промышленной сети и работу с постоянной скоростью вращения ротора. Но по некоторым оценкам, использование обычных серийных асинхронных электродвигателей (АД) в частотном приводе приводит к снижению КПД и требует завышения их установленной мощности на (15–20)% при работе в установившихся режимах и до (40 – 45)% при работе в динамических режимах. Из-за высших гармоник напряжения и тока на выходе преобразователя частоты (ПЧ) на 56% возрастают потери в двигателе. Разработчики и производители электрических машин и электроприводов единодушны в том, что для частотного регулирования нужны специальные двигатели.

Сформулируем основные различия частотно-регулируемых АД от обычных:

1. Форма пазов ротора. Вследствие «мягкого» частотного пуска на роторе не требуются глубокие пазы. При проектировании таких двигателей вообще не следует ставить задачу обеспечения кратностей пускового и максимального моментов, ибо они получаются автоматически в замкнутой системе регулирования. Управляя частотой и напряжением, можно регулировать не только скорость вращения, но и скольжение, т.е. минимизировать потери в роторе. А векторное управление позволяет поддерживать такую величину реактивной составляющей тока статора, при которой коэффициент мощности и КПД наибольшие. Соотношение активных материалов перераспределяется в сторону увеличения проводниковых. Глубокие пазы в серийном АД имеют 15-25% избыточной площади при работе в установившемся номинальном режиме. Этот резерв в частотно-регулируемом приводе можно использовать для уменьшения активного сопротивления ротора, т.е. и рабочего скольжения и индуктивного сопротивления рассеяния, т.е. для увеличения полезного момента. Более широкие пазы имеют на 15-25% меньшую индуктивность рассеяния.

2. Число пар полюсов. Скорость вращения производственного механизма определяется частотой питания двигателя, количеством его пар полюсов и передаточным числом редуктора. Требуемую скорость вращения можно обеспечить при различных сочетаниях этих трех величин.

3. Номинальное напряжение двигателя. Известно, что если в регулируемом приводе используется серийный двигатель, без специальных мер ему зачастую не хватает напряжения на выходе ПЧ. Следовательно, с целью упрощения системы логично предположить, что двигатель для комплектного частотного привода может быть рассчитан на нестандартное напряжение основной гармоники на выходе ПЧ.

4. Синусоидальность напряжения и тока двигателя. Считается, что ПЧ тем лучше, чем большую синусоидальность напряжения или тока в двигателе

он обеспечивает. Это требование опять же идет от серийных двигателей, в конструкциях которых предусматривается ряд мер, обеспечивающих синусоидальность поля в воздушном зазоре (распределение обмотки по пазам, укорочение ее шага и скос пазов).

5. Охлаждение. Из-за низкой эффективности собственных вентиляторов при работе на малых частотах двигатели должны быть снабжены автономными вентиляторами-наездниками со своим приводом. Это необходимо для охлаждения как активных частей, так и подшипников.

6. Перенапряжения. ШИМ – коммутация современных ПЧ вызывает волновые переходные процессы и импульсные перенапряжения в системе ПЧ-двигатель. Для защиты от них надо не только использовать фильтры, но и усиливать изоляцию хотя бы начальных витков обмотки, правильно выбирать длину и конструкцию кабеля между ПЧ и двигателем, заземления.

7. Подшипники. Если двигатель будет работать в зоне очень высоких скоростей вращения, этим условиям должны соответствовать его подшипники, их смазка, уплотнения и балансировка ротора.

8. Шумы и вибрации. При регулировании скорости вращения вибро-акустические показатели, естественно, изменяются, причем в диапазонах низких скоростей превалирует структурная, а высоких – аэродинамическая. Значения скоростей и величины диапазонов зависят от числа полюсов двигателя.

Учитывая все вышеприведенные особенности, следует выбирать двигатель специального исполнения, рассчитанного для использования в сочетании с ПЧ.

Выберем сервомоторы фирмы *KEB*, обладающие следующими возможностями:

*Высокая перегрузочная способность*

Изоляция двигателей выполнена по классу термоустойчивости *H*. Двигатели оснащены независимой вентиляцией с системой охлаждающих каналов, позволяющей отводить тепловую энергию в объеме, не зависящем от скорости вращения вала двигателя. Совокупность этих особенностей



конструкции позволила двигателям обеспечивать перегрузку по моменту равную,  $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = 2.5 - 2.8$ .

#### Поддержание равномерности частоты вращения на низких оборотах

Основным параметром, влияющим на эту характеристику, является равномерность магнитного зазора между ротором и статором двигателя по всей длине окружности.

#### Высокие динамические характеристики двигателя

Благодаря снижению момента инерции вала двигателя, и снижению индуктивности статора достигнута существенно более низкая электромеханическая постоянная времени.

#### Компактность и сниженная масса

Благодаря тому, что в двигателях использованы современные материалы магнитопровода и корпуса, удалось на 20 % снизить массу двигателя относительно российских аналогов и разработать более компактную конструкцию, объединяющую в одном корпусе двигатель, датчик обратной связи и узел независимой вентиляции.

Выбираем двигатель *KEB ST90 MB*, данные которого приведены в таблице 2 [3, 4].

Таблица 2 – Паспортные данные двигателя ST90 MB

$P_n$ , кВт	$n_{\text{дв.ном}}$ при $f_{\text{ном}} = 70 \text{ Гц}$ , об/мин	$U_{\text{ном}}$ , В	$2p$	$n_{\text{макс}}$ , об/мин	$I_{\text{ном}}$ , А	$I_0$ , А
1.5	2000	$\frac{190}{330}$	4	8000	5.3	2.3
$L_{1s}$ , мГн	$L_{2s}$ , мГн	$L_m$ , мГн	$R_1$ , Ом	$R_2'$ , Ом	$J_{\text{дв}}$ , кг·м <sup>2</sup>	$m$ , кг
3.077	5.197	169.722	2.258	1.427	0.0038	18.9

Электрический мотор, спроектированный на непрерывный режим регулировки, имеет следующие характеристики:

- изоляционный материал обмотки по классу *H*, способный выдерживать повышение рабочей температуры до 180°C
- особый ротор низкой инерции и низкого значения омического сопротивления для повышения производительности и устойчивости к изменениям частоты.

Эта особенность мотора, в комбинации с электронной системой энергосбережения, основанной на контроле напряжения и частоты, позволяет сократить потерю энергетического КПД меди и железа, уменьшить перегрев мотора и обеспечить нормальный режим регулировки давления в нефтепроводе.

## **2.2 Выбор и обоснование системы управления электроприводом**

Целесообразный способ управления двигателем зависит от технических требований к системе электропривода. В электроприводах с ограниченным диапазоном регулирования и отсутствием динамических режимов работы применяется частотно-параметрический способ, при котором принудительно регулируется частота и действующее значение выходного напряжения ПЧН в соответствии с заданной скоростью.

В электроприводах с ограниченным диапазоном регулирования, к которым предъявляются высокие требования к динамическим режимам, применяется частотно-токовый способ, при котором принудительно регулируются частоты и действующее значение выходного тока ПЧТ в зависимости от абсолютного скольжения двигателя при заданной скорости и действующей нагрузке.

В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости и высокими требованиями к динамическим характеристикам применяется

регулирование мгновенных значений трехфазной системы питающих напряжений и токов с использованием частотно-векторного принципа регулирования.

Условное разграничение регулируемых ЭП по параметрам и сравнительной стоимости представлено в таблице 3.

Таблица 3. – Сравнение систем регулирования скорости АД по основным параметрам

Электропривод (ЭП)	ЭП со скалярным управлением	ЭП с векторным управлением
Диапазон регулирования скорости	1:5 , 1: 20	1:100 , 1:10000 <sup>1</sup>
Управление скоростью	Есть	Есть
Управление моментом	Нет	Есть
Возможность точного позиционирования	Нет	Может быть
Возможность регулирования положения	Нет	Есть
Относительная статическая ошибка при стабильной скорости по разомкнутому контуру	$\pm 10 \%$	$\pm 1 \%$ , $\pm 5 \%$
Относительная статическая ошибка при стабильной скорости по замкнутому контуру	$\pm 1 \%$	$\pm 1 \%$ , $\pm 0.1 \%$
Есть ли возможность контроля за моментом на «нулевых» скоростях ?	Нет	Есть
Есть ли возможность управления несколькими двигателями одновременно от одной системы управления ?	Есть	Нет
Есть ли необходимость в подвижном скользящем контакте на двигателе?	Нет	Нет
Основные области применения	Технологические установки с небольшим диапазоном регулирования и низким пусковым моментом (коммунальное хозяйство)	Высоко моментные технологические установки и транспортные устройства с широким диапазоном регулирования.

Примечание:

1. При наличии датчика скорости (положения) на валу двигателя.

## 2.3 Выбор преобразователя частоты

Исходя из требований к электроприводу заслонки нефтепровода, на основе вышеприведенного анализа способов управления скоростью АД, выбираем ЭП с векторным управлением. Преобразователь частоты, обладающий полным набором возможностей для реализации поставленных задач выбираем той же фирмы, что и двигатель: *KEB COMBIVERT F5-Multi* (многофункциональный: управляемый поле-ориентированный преобразователь частоты для трехфазных асинхронных двигателей). Функции преобразователя приведены в таблице 4 [5].

Таблица 4 – Функции преобразователей KEB COMBIVERT серии F5-Multi

Диапазон мощностей	1.5 - 315 kVt
Напряжение питания	1x220V 3x380V
Макс. выходная частота	1600Hz
Макс. частота модуляции	16 kHz
Обратная связь по скорости	Есть
Обратная связь по положению	Есть
Векторное управление	Есть
Контроль скорости	Есть
Контроль момента	Есть
Возможность позиционирования	Есть
Возможность подключения датчика ОС	Есть
<i>Sensorless Motor Management</i> (управление без датчика ОС)	Есть
Аналоговый вход	2 входа 0..10v $\pm$ 10V 0/4..20mA
Аналоговый выход	2 выхода 0..10V
Дискретные входы	8
Дискретные выходы (релейные)	2
Дискретные выходы (транзисторные)	2
Наборы параметров	8
«Технологический <i>PID</i> - регулятор»	ЕСТЬ
Разгон/торможение по рампе	ЕСТЬ
Разгон/торможение по <i>S</i> – кривой	ЕСТЬ

Руководствуясь техническими требованиями к электроприводу САР давления НПС, выбираем преобразователь частоты со следующей кодировкой: 10.F5.M2B-3A10, где

- 10 – типоразмер инвертора;
- F5 – серия;
- M2B: Multi со встроенным фильтром и типоразмером корпуса “B”;
- 3 – 3-х фазный 400 В AC/DC;
- A – 8 кГц/180% (макс. кратковременный ток)/216% (ток срабатывания защиты);
- 1 – инкрементальный вход и выход;
- 0 – охлаждение стандартное.

Параметры выбранного преобразователя представлены в таблице 5 [5].

Таблица 5 – Параметры преобразователя *KEB 10.F5.M2B-3A10*

Наименование параметра	Показатель
Номинальная выходная мощность, кВА	4
Макс. паспортная мощность двигателя, кВт	2.2
Номинальный выходной ток, А	5.8
Максимальный кратковременный ток, А	10.4
Ток срабатывания защиты, А	12.5
Номинальный входной ток, А	8
Номинальная частота модуляции, Гц	8000
Максимальная частота модуляции, Гц	16000
Мощность потерь при номинальном режиме, Вт	120
Максимальный ток входных предохранителей, А	16
Сечение входных проводов, мм <sup>2</sup>	1.5
Мин. сопротивление тормозного резистора, Ом	82
Частота сети, Гц	50/60 ±2
Температура хранения, °С	-25...70
Рабочая температура, °С	-10...45
Конструкция/тип исполнения	IP20

Функциональная схема и схема подключения преобразователя частоты приведены соответственно на рисунках 6 и 7.

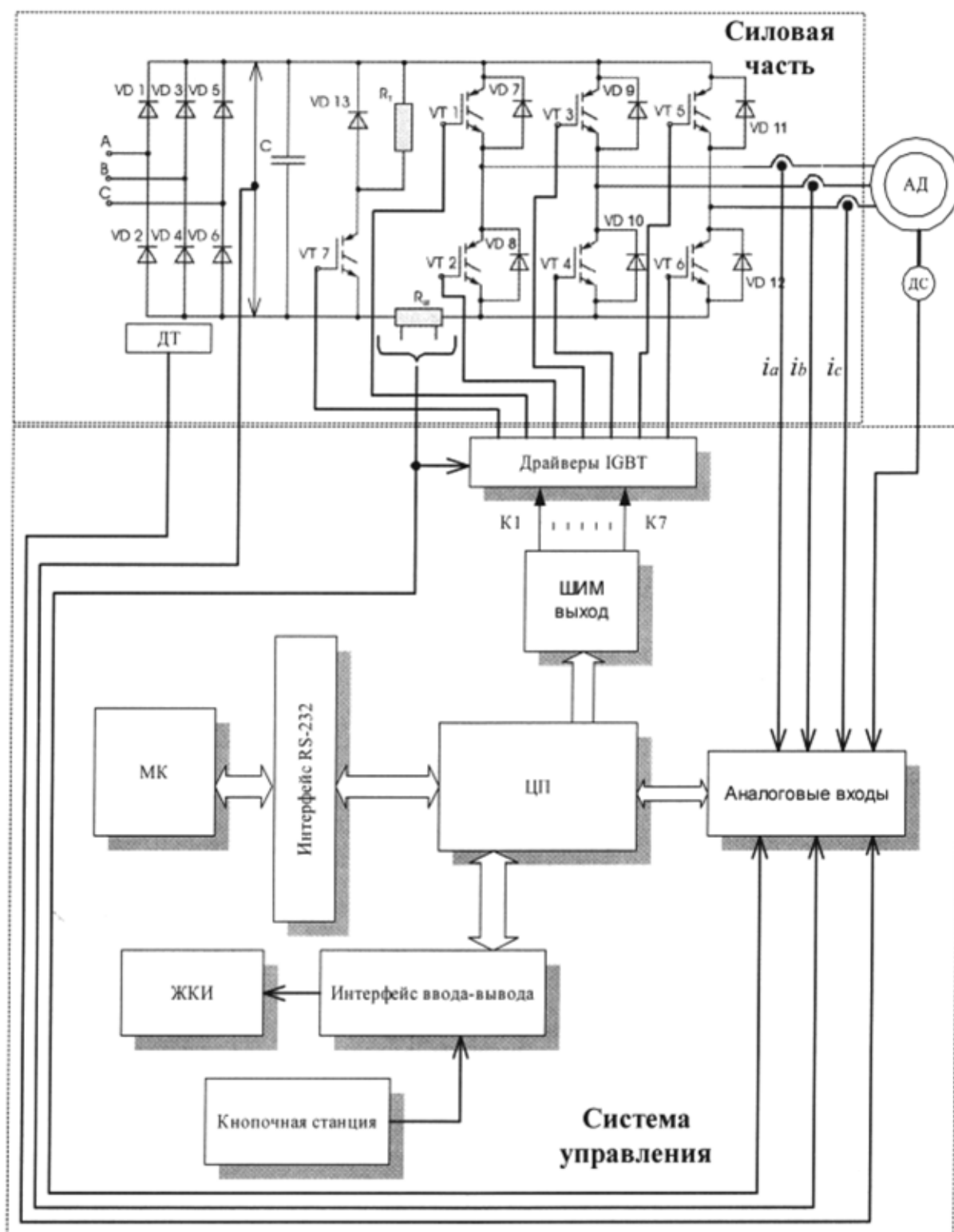


Рисунок 6 – Функциональная схема преобразователя частоты

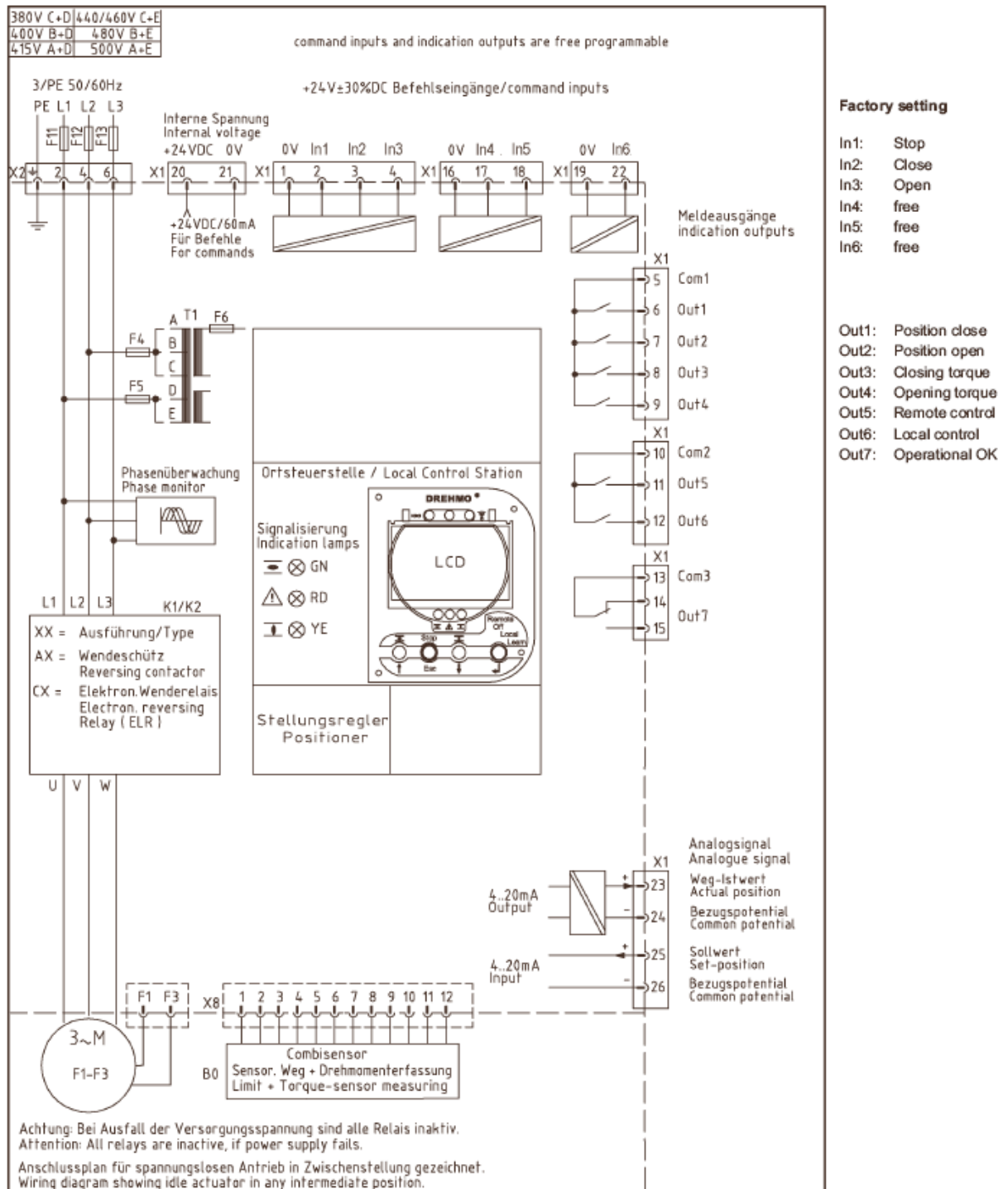


Рисунок 7 – Схема подключения преобразователя частоты

## 2.4. Анализ линеаризованной САУ РЭП

### 2.4.1. Структурная схема силового канала электропривода

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, выполняющий функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат представлена на рисунке 8.

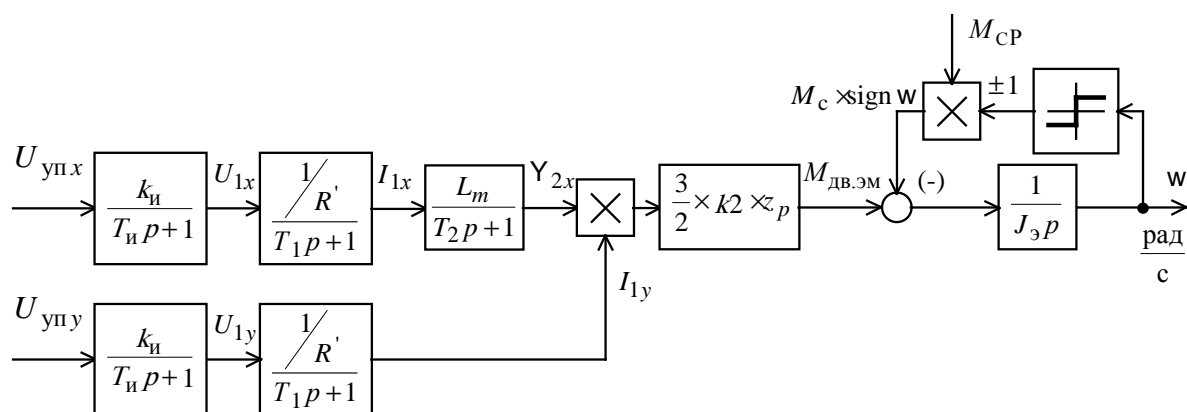


Рисунок 8 – Структурная схема силового канала системы преобразователь – асинхронный электродвигатель

### Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

#### *Расчет параметров преобразователя*

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя



$$k_{\text{и}} = \frac{\sqrt{2} \times U_{1\phi \text{н}}}{U_{\text{уп макс}}},$$

где  $U_{\text{уп макс}}$  – максимальное значение напряжения управления, В. Принять

$$U_{\text{уп макс}} = 10 \text{ В}.$$

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{и}} = \frac{0.5}{f_{\text{шим}}}, \text{ с},$$

где  $f_{\text{шим}}$  – несущая частота инвертора, Гц.

### ***Расчет параметров двигателя***

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\text{с}} + L_{\text{м}} = 3.077 \times 10^{-3} + 169.722 \times 10^{-3} = 0.173 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = L'_{2\text{с}} + L_{\text{м}} = 5.197 \times 10^{-3} + 169.722 \times 10^{-3} = 0.175 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$s = 1 - \frac{L_{\text{м}}^2}{L_1 \times L_2} = \frac{(169.722 \times 10^{-3})^2}{0.173 \times 0.175} = 0.047.$$

Эквивалентное сопротивление

$$R' = R_1 + R'_2 \times \frac{L_{\text{м}}^2}{L_2^2} = 2.258 + 1.427 \times \frac{(169.722 \times 10^{-3})^2}{0.175^2} = 3.6 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_1 = \frac{s \times L_1}{R'} = \frac{0.047 \times 0.173}{3.6} = 0.00225 \text{ с};$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0.175}{1.427} = 0.123 \text{ с};$$

$$k_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{169.722}{0.175} = 0.97;$$

$$L' = s \times L_1 = 0.047 \times 0.173 = 0.00812 \text{ Гн}.$$

### ***Расчет параметров механической системы***

Момент инерции механизма

$$J_M = 0.2 \times J_{дв} = 0.2 \times 0.0038 = 0.00076 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентный момент инерции привода

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_M = 0.0038 + 0.00076 = 0.00456 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Полученные параметры структурной схемы силового канала сведены в таблицу 4

Таблица 4 – Параметры структурной схемы

$R',$ Ом	$L',$ Гн	$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$k_2$	$z_p$	$J_{\Sigma} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
3.601	0.00812	0.002254	0.122578	0.97029	2	0.00456

### **2.4.2. Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением**

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного двухзонного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 9. Электропривод реализован по схеме с независимым управлением потокосцеплением [2]



На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{рт}}, W(p)_{\text{рУ}}, W(p)_{\text{рс}}$  – передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

$k_{\text{т}}$  – коэффициент обратной связи по току В/А.

$k_{\text{У}}$  – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, В/Вб ;

$k_{\text{с}}$  – коэффициент обратной связи по скорости,  $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ ;

$T_{\text{мто}} = \frac{T_{\text{с т}}}{3}$  – малая постоянная времени цепи обратной связи по току, с;

$T_{\text{с т}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} n_{\text{т}}$  – период сглаживания результатов измерения тока, с.

Принять количество измерений  $n_{\text{т}} = 8$ ;

$T_{\text{мУо}} = \frac{T_{\text{с У}}}{3}$  – малая постоянная времени цепи обратной связи по

потокосцеплению, с;

$T_{\text{с У}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} n_{\text{У}}$  – период расчета потокосцепления, с. Принять

$n_{\text{У}} = 3$ ;

$T_{\text{мсо}} = \frac{T_{\text{с с}}}{3}$  – малая постоянная времени цепи обратной связи по

скорости, с;

$T_{\text{с с}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} n_{\text{с}}$  – период расчета (измерения) скорости, с. Принять

$n_{\text{с}} = 3$ .

## 2.5. Оптимизация контуров регулирования

### 2.5.1 Оптимизация САР потокосцепления

Структурная схема линейризованной двухконтурной САР потокосцепления приведена на рисунке 10.

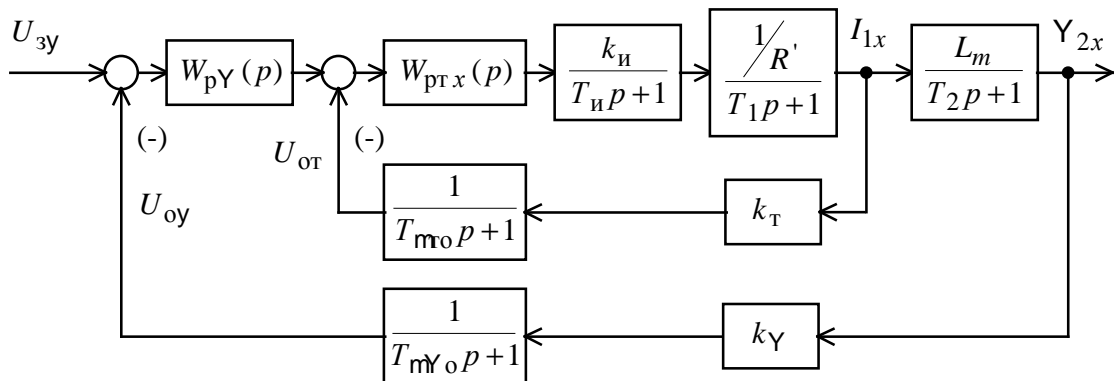


Рисунок 10 – Структурная схема линейризованной двухконтурной САР потокосцепления

### Оптимизация контура тока

Структурная схема контура приведена на рисунке 11.

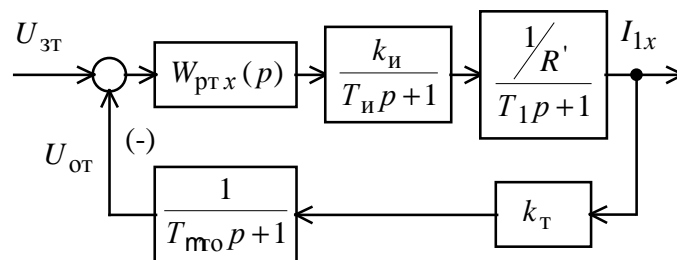


Рисунок 11 – Структурная схема контура тока

Контур содержит инерционные звенья первого порядка с постоянными времени:

$$T_1 = 0.0022545 \text{ с} , \quad T_{и} = \frac{0.5}{f} = \frac{0.5}{8000} = 0.0000625 \text{ с} , \quad T_{mо} = 0.0003333 \text{ с} .$$

Принимаем малую некомпенсированную постоянную времени контура

$$T_{\text{мт}} = T_{\text{мпк}} + T_{\text{мок}},$$

где

$T_{\text{мпк}}$  – постоянная времени прямого канала контура тока;

$T_{\text{мок}}$  – постоянная времени обратного канала контура тока;

$$T_{\text{мпк}} = T_{\text{и}} = 0.0000625 \text{ с};$$

$$T_{\text{мок}} = T_{\text{мо}} + T_{\text{АЦП}} = 0.0003333 \text{ с};$$

$$T_{\text{мт}} = T_{\text{мпк}} + T_{\text{мок}} = 0.0000625 + 0.0003333 = 0.0003958 \text{ с}$$

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{рт}}(p) = k_{\text{рт}} \times \frac{T_{\text{рт}} \times p + 1}{T_{\text{рт}} \times p},$$

где

$$T_{\text{рт}} = T_{\text{л}} = 0.0022545 \text{ с} - \text{постоянная времени регулятора};$$

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{л}} \times R'}{k_{\text{и}} \times k_{\text{т}} \times a_{\text{т}} \times T_{\text{мт}}} = \frac{0.0022545 \times 3.601}{26.87 \times 0.962 \times 2 \times 0.0003958} = 0.39678 \quad -$$

коэффициент усиления регулятора;

$$k_{\text{т}} = \frac{U_{\text{зт.макс}}}{I_{\text{лмакс}}} = \frac{10}{10.4} = 0.962 \frac{\text{В}}{\text{А}} - \text{коэффициент обратной связи по току};$$

$U_{\text{зт.макс}}$  - максимальное напряжение задания на ток  $U_{\text{зт.макс}} = 10 \text{ В};$

$a_{\text{т}} = 2$  - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

$I_{\text{лмакс}} = 10.4 \text{ А}$  – максимальный кратковременный ток преобразователя.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$s = 4.3\%$  – перерегулирование;

$$t_{\text{пул}}^{(5)} = 4.1 \times T_{\text{мт}} = 4.1 \times 0.0003958 = 0.0016229 \text{ с} - \text{время первого согласования};$$

$t_{py2}^{(5)} = 4.1 \times T_m = 4.1 \times 0.0003958 = 0.0016229$  с – время переходного процесса при обработке ступенчатого управляющего задания;

$w_{\Pi}^{(M)} = w_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.71}{T_m} = \frac{0.71}{0.0003958} = 1793.68 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  – полоса пропускания по модулю и фазе.

По структурной схеме контура тока (см. рисунок 11) набирается имитационная модель, представленная на рисунке 12, а параметры звеньев приведены в протоколе [6].

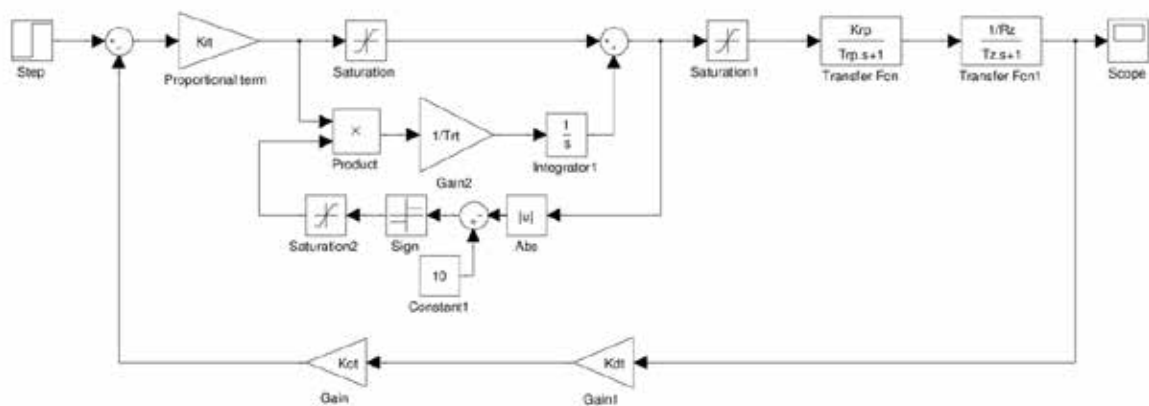


Рисунок 12 – Имитационная модель контура тока

Результаты моделирования переходных процессов в контуре тока, настроенного на модульный оптимум при обработке ступенчатого входного воздействия  $U_{3T} = 0.1$  В приведены в виде переходной характеристики  $i(t)$  на рисунке 13.

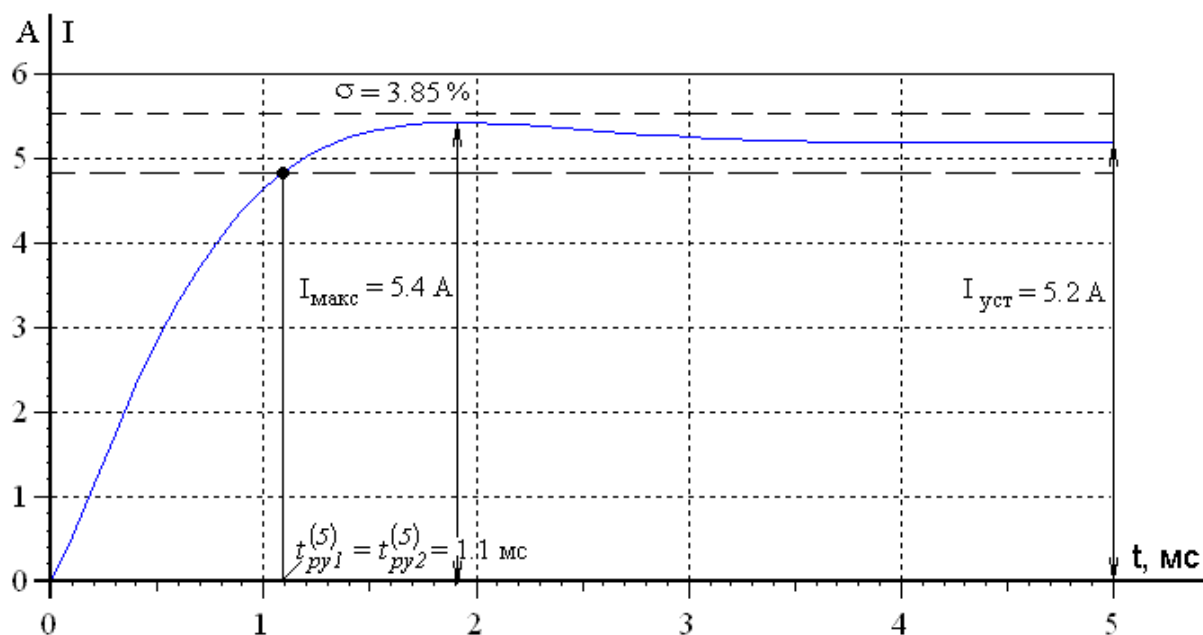


Рисунок 13 – Переходная характеристика  $i(t)$  контура тока по структурной схеме рисунок 11

Анализ полученных результатов моделирования (таблица 5) показывает, что они согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

Таблица 5 – Показатели работы контура тока

Показатели	Ожидаемые	Полученные
$S, \%$	4.3	4.3
$t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)}, \text{ с}$	0.0016229	0.0011

### **Оптимизация контура потокосцепления**

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 14.



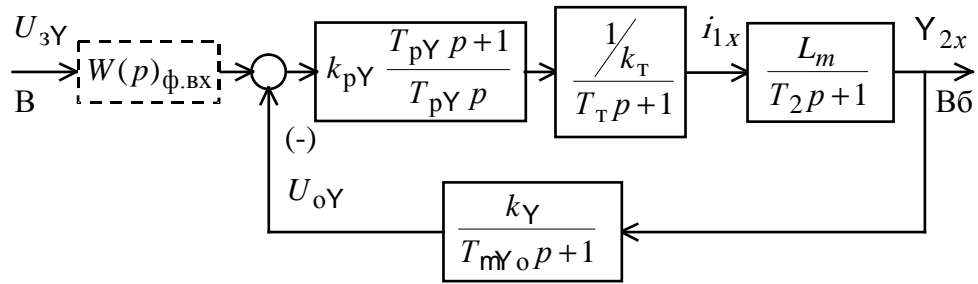


Рисунок 14 – Структурная схема контура потокосцепления

Контур потокосцепления настраиваем на МО. С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{py} = k_{pY} \times \frac{T_{pY} \times p + 1}{T_{pY} \times p},$$

где

$$k_{pY} = \frac{k_T \times T_2}{k_Y \times L_m \times 2 \times T_{mY}} = \frac{0.962 \times 0.1225781}{16.369 \times 0.16972 \times 2 \times 0.001125} = 18.865$$

– коэффициент усиления регулятора;

$$T_{mY} = a_T \times T_{mT} + T_{mY_o} = 2 \times 0.0003958 + 0.0003333 = 0.001125 \text{ с}$$

– малая постоянная времени контура потокосцепления;

$$k_Y = \frac{U_{3Y \text{ макс}}}{Y_{2 \text{ макс}}} = \frac{U_{3Y \text{ макс}}}{\frac{\sqrt{2} \times U_H}{2p \times f_H}} = \frac{10}{\frac{\sqrt{2} \times 90}{2p \times 70}} = 16.369 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$$

– коэффициент обратной связи по потокосцеплению.

Передаточная функция фильтра на входе контура потокосцепления

$$W_{\text{вх.ф}}(p) = \frac{1}{T_{mY_o} p + 1} = \frac{1}{0.0003333 p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного на МО

$\sigma = 8.1\%$  – перерегулирование;

$t_{py1}^{(5)} = 7 \times T_{mT} = 7 \times 0.0003958 = 0.0027708 \text{ с}$  – время первого согласования;

$t_{py2}^{(5)} = 12 \times T_m = 12 \times 0.0003958 = 0.00475$  с время переходного процесса при отработке ступенчатого управляющего задания;

$$w_{\Pi}^{(M)} = \frac{0.5}{T_m} = \frac{0.5}{0.0003958} = 1263.2 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по модулю};$$

$$w_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.35}{T_m} = \frac{0.5}{0.0003958} = 884.211 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по фазе}.$$

Результаты моделирования переходных процессов в контуре потокосцепления, настроенного на модульный оптимум, при отработке ступенчатого входного воздействия  $U_{3Y} = 0.1$  В приведены в виде переходных характеристик  $\Psi(t)$  и  $I(t)$  на рисунке 16.

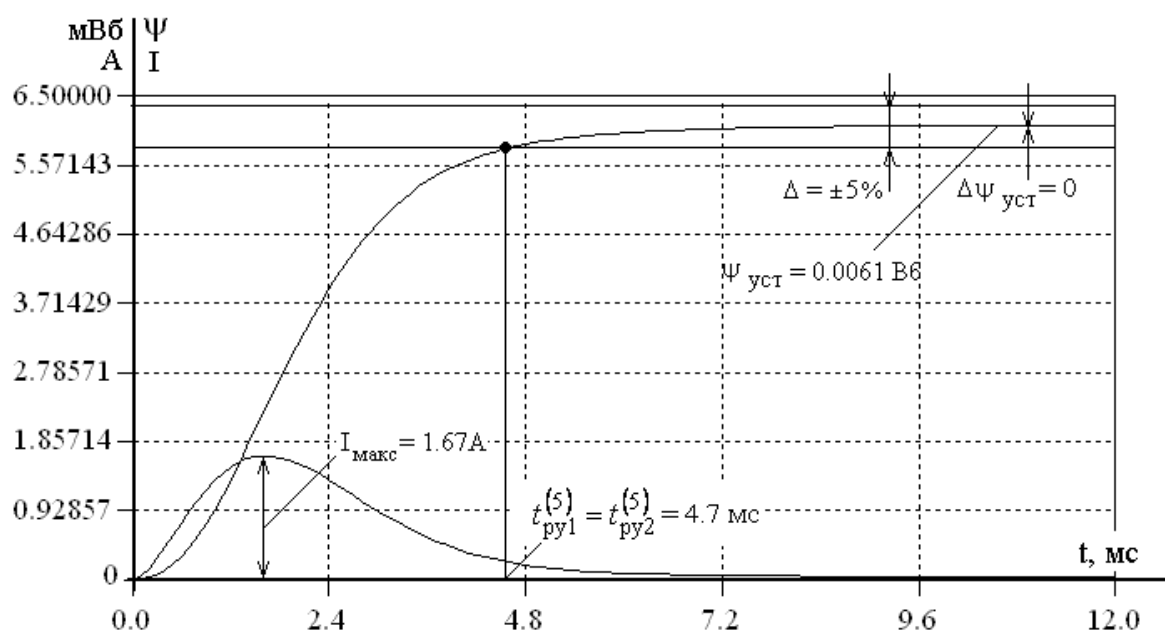


Рисунок 16 – Переходные характеристики  $\Psi(t)$  и  $I(t)$  контура потокосцепления

Таблица 6 – Показатели работы замкнутого контура скорости

Показатели	Ожидаемые	Полученные
$s, \%$	8.1	0
$t_{py1}^{(5)}, \text{с}$	0.0027708	0.0047
$t_{py2}^{(5)}, \text{с}$	0.00475	0.0047

Разница экспериментальных и ожидаемых параметров связана с наличием апериодического звена первого порядка в цепи обратной связи контура и на его входе.

### 2.5.2 Оптимизация САР скорости

Структурная схема линейаризованной САР скорости приведена на рисунке 17.

Контур скорости настраиваем на СО. С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{pc} = k_{pc} \times \frac{T_{pc} \times p + 1}{T_{pc} \times p},$$

где

$k_{pc}$  – коэффициент усиления регулятора.

$a_c = 2$  – коэффициент оптимизации контура скорости по СО;

$T_{mc} = a_T \times T_{mT} + T_{mo} = 2 \times 0.0003958 + 0.0003333 = 0.001125$  с – малая постоянная времени контура скорости.

$$k_c = \frac{U_{зс \text{ макс}}}{w_{\text{макс}}} = \frac{10}{837.696} = 0.01194 \frac{\text{В} \times}{\text{рад}} \text{ – коэффициент обратной связи}$$

по скорости;

$T_{pc} = b_c \times a_c \times T_{mc} = 2 \times 2 \times 0.001125 = 0.0045$  с – постоянная времени регулятора скорости;

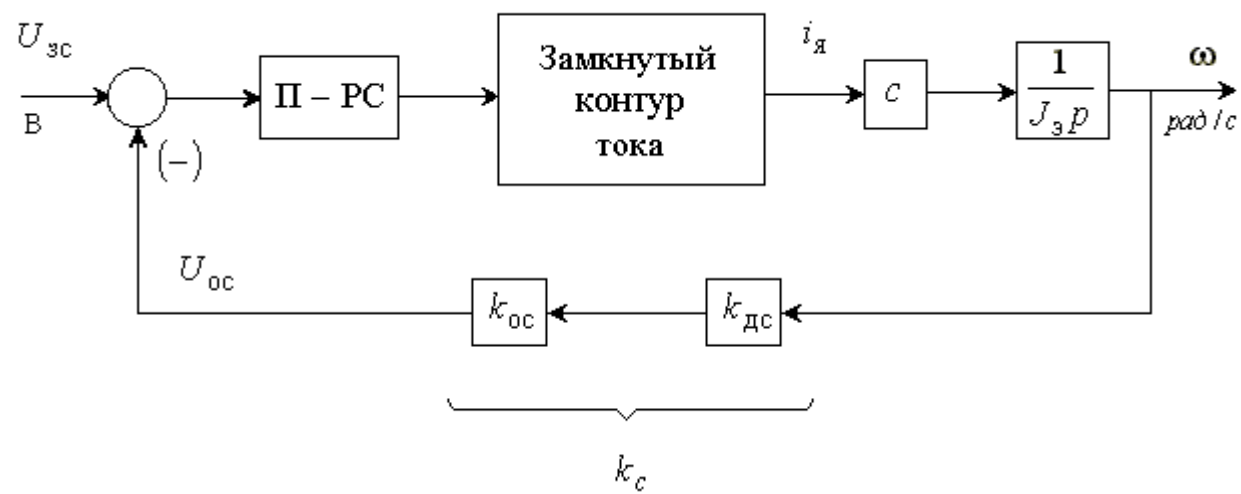


Рисунок 17 – Структурная схема контура скорости

$$k_{pc} = \frac{k_T \times J_{\text{эп}}}{\frac{3}{2} \times k_2 \times z_p \times k_c \times Y_{2x} \times 2 \times T_m} =$$

$$= \frac{0.962 \times 0.00456}{\frac{3}{2} \times 0.97 \times 2 \times 0.01194 \times 0.611 \times 2 \times 0.001125} = 91.829$$

– коэффициент усиления регулятора скорости;

$$W_{\text{вх.ф}}(p) = \frac{1}{(4 \times T_m + T_{m0}) \times p + 1} = \frac{1}{0.0048333 \times p + 1}$$

– передаточная функция фильтра на входе контура;

$T_{m0} = 0.0003333$  с – постоянная времени фильтра в обратной связи контура.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного на СО

$s = 6.2\%$  – перерегулирование;

$t_{\text{pyl}}^{(5)} = 13.6 \times T_m = 13.6 \times 0.000396 = 0.0053833$  с – время первого согласования;

$$w_{\Pi}^{(M)} = \frac{0.284}{T_m} = \frac{0.284}{0.000396} = 717.474 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – полоса пропускания по модулю;}$$

$$w_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.18}{T_m} = \frac{0.18}{0.000396} = 454.737 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – полоса пропускания по фазе.}$$

По структурной схеме контура скорости набирается имитационная модель, представленная на рисунке 18.

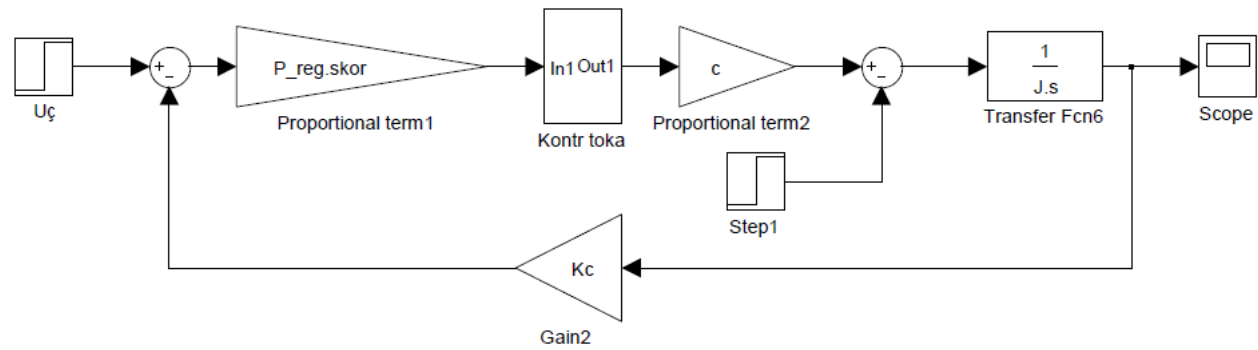


Рисунок 18 – Имитационная модель контура скорости

Результаты моделирования переходных процессов в контуре скорости, настроенного на симметричный оптимум, при отработке ступенчатого входного воздействия  $U_{zc} = 0.1 \text{ В}$  приведены в виде переходной характеристики  $w(t)$  на рисунке 19.

Отличие экспериментальных показателей качества переходных процессов от ожидаемых объясняется наличием малой постоянной времени не только в прямом, но и в обратном канале контура.

## **2.6 Исследование нелинейной САУ РЭП**

Учитываются следующие основные нелинейности характеристик элементов САУ РЭП:

- ограничение сигнала регулятора скорости;
- ограничение сигнала регулятора тока;
- ограничение сигнала регулятора потокосцепления.

При моделировании влияние внутренних отрицательных обратных связей по ЭДС двигателя скомпенсировано.

Графики переходных процессов нелинейной САУ РЭП представлены на рисунке 20.

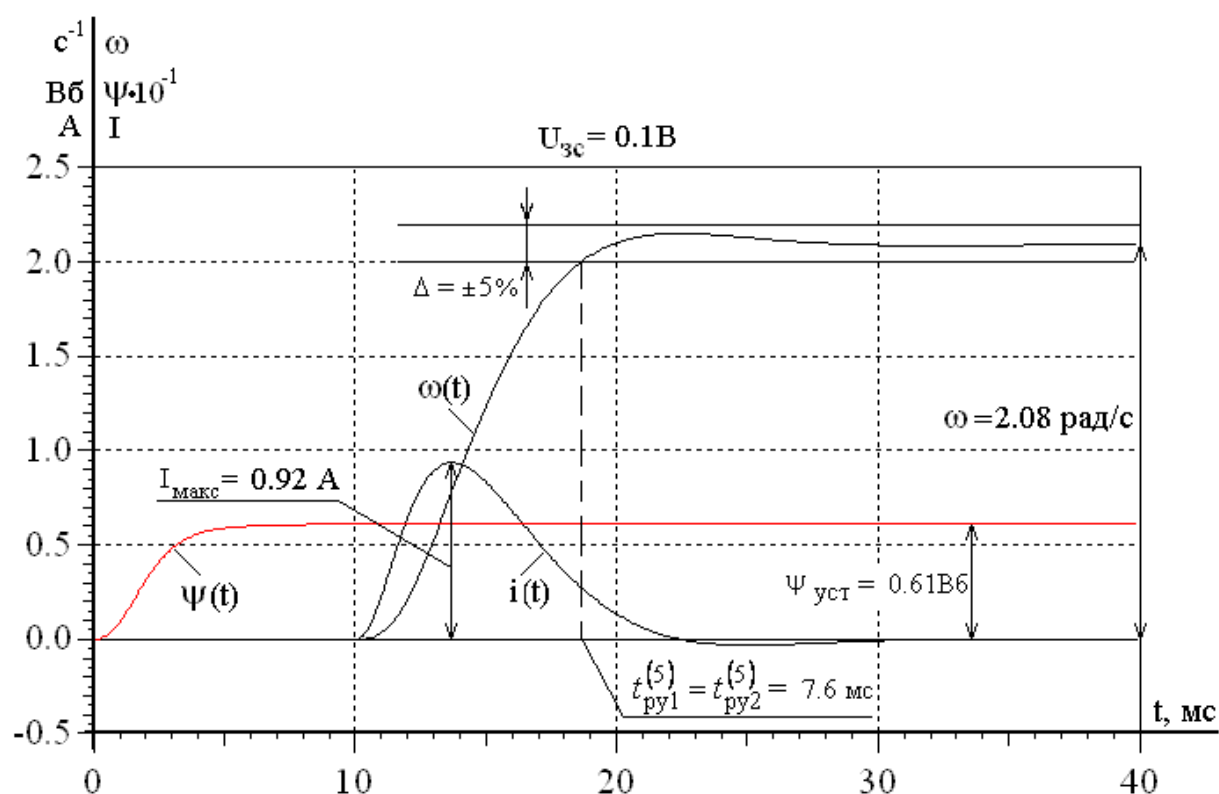


Рисунок 19 – Переходные характеристики  $I(t)$ ,  $\omega(t)$  и  $\psi(t)$  контура скорости

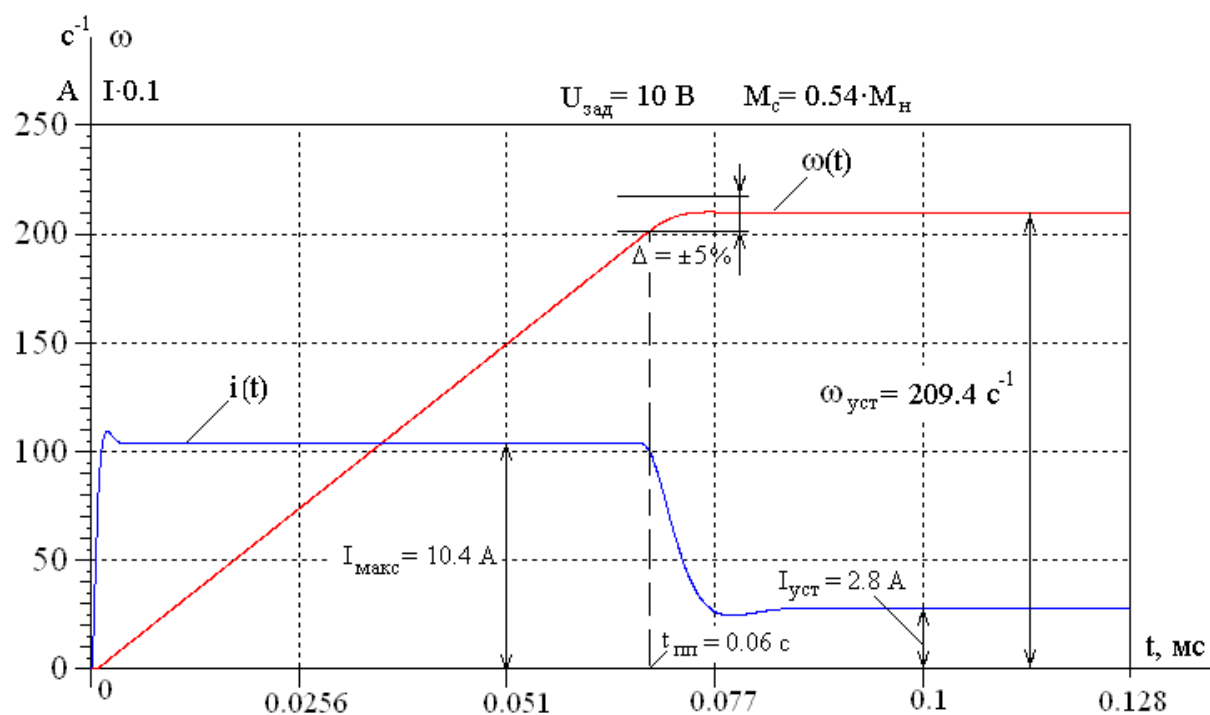


Рисунок 20 – Переходный процесс скорости  $\omega(t)$  и тока  $i(t)$  нелинейной САУ РЭП



Анализируя переходные процессы рисунка 20 при влиянии насыщения регуляторов, видно, что кратковременный максимальный ток преобразователя ограничивается на величине  $I_{\text{макс}} = 10.4 \text{ В}$ , что соответствует допустимому току преобразователя, а переходный процесс по скорости более затянутый и без существенного перерегулирования, в сравнении с линейной системой. При нагрузке  $M_c = 0.54 \times M_H = 0.54 \times 7.163 = 3.868 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , установившийся ток  $I_{\text{уст}} = 2.8 \text{ А}$ .

## **2.7 Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода**

Известно, что в векторных системах управление наиболее просто реализуется с регуляторами во вращающейся системе координат. Однако такая реализация требует введения дополнительных блоков преобразования координат из вращающейся системы  $x, jy$  в неподвижную  $a, jb$  (прямое преобразование) и наоборот, из неподвижной  $a, jb$  во вращающуюся  $x, jy$  (обратное преобразование).

Функциональная схема векторной системы управления АД с косвенной ориентацией по полю с регуляторами, выполненными во вращающейся системе координат, представлена на рисунке 21.

На функциональной схеме приняты следующие обозначения:

М – асинхронный двигатель;

АИН – автономный инвертор напряжения;

Ф – фильтр подавления помех. Подавляет возмущения и пульсации входных сигналов, т.е. сглаживает аналоговые входы путём усреднения в соответствии с таблицей 7.

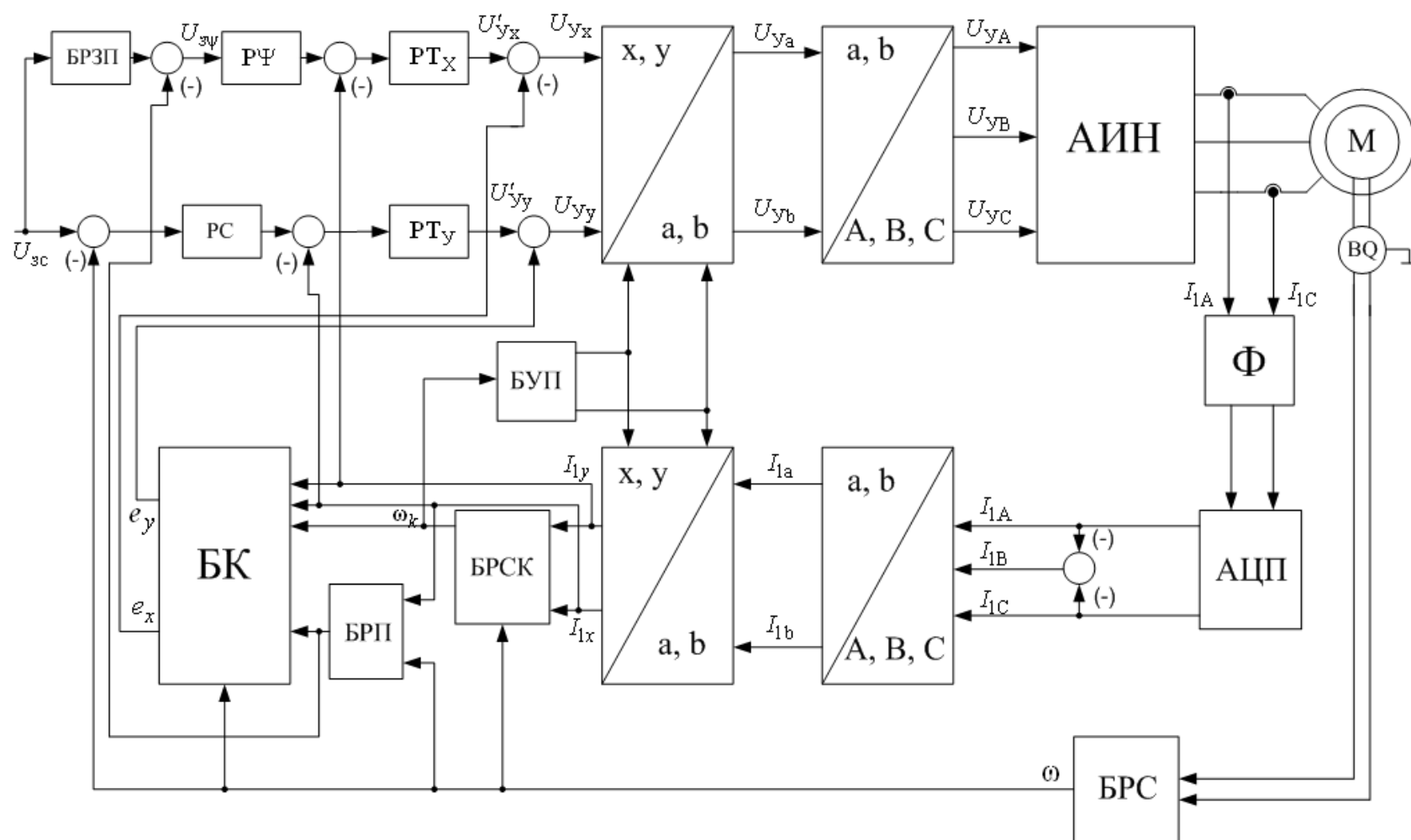


Рисунок 21 – Функциональная схема РЭП

Таблица 7 – Таблица усреднения

Значение параметра уставки	Функция (количество значений, по которым производится усреднение)	Время корректировки
0	Без усреднения	128 мкс
1	2	256 мкс
2	4	512 мкс
3	8	1 мс
4	16	2 мс
5	32	4 мс
6	64	8 мс
7	128	16 мс
8	256	32 мс
9	512	64 мс
10	1024	128 мс

АЦП - аналого-цифровой преобразователь (два 10-ти разрядных преобразователя, время преобразования 10 мкс);

ВQ - импульсный датчик положения;

БРС - блок расчёта скорости. Время обсчёта сигнала датчика (0.5 – 16 мкс) при использовании импульсного датчика положения на 2500 импульсов устанавливается в соответствии с таблицей 8.

Таблица 8

Значение параметра	Период дискретизации	Разрешающая способность по скорости, об/мин
0	0.5	12
1	1	6
2	2	3
3	4	1.5
4	8	0.75
5	16	0.375

БРСК — расчётный блок. Вычисляет значение скорости вращения вектора потокосцепления  $w_k$  при косвенной ориентации по полю

$$w_k = w \times z_p + \frac{I_{1y}}{I_{1x}} \times \frac{R_2}{L_2};$$

БРП - блок расчёта потокосцепления  $Y_{2x}$ ;

БУП - блок углового преобразования. Вычисляет угловое положение вектора потокосцепления

$$Q = \int_0^t \dot{\omega}_k \times dt, \text{ где } \omega_k - \text{ скорость вращения вектора потокосцепления};$$

БК - блок компенсации ЭДС двигателя;

БРЗП — блок расчёта задания магнитного потока. Формирует  $U_{3Y}$  в зависимости от величины заданной скорости;

РС — регулятор скорости (ПИ-регулятор);

Р $\psi$  — регулятор потокосцепления;

РТ $_X$  - регулятор тока в контуре намагничивания (ПИ-регулятор);

РТ $_Y$ — регулятор тока (ПИ-регулятор).

Также в схеме предусмотрены блоки, осуществляющие координатные преобразования:

$A, B, C - a, b$  – преобразователь координат. Формирует составляющие токи статора  $I_{1a}, I_{1b}$  эквивалентной двухфазной машины в неподвижной системе координат  $a, jb$ :

$$I_{1a} = I_{1a}; \quad I_{1b} = \frac{I_{1B} - I_{1C}}{\sqrt{3}}, \text{ где } I_{1B} = -I_{1A} - I_{1C};$$

$a, b - x, y$  – преобразователь координат, осуществляющий обратное преобразование токов  $I_{1a}, I_{1b}$  неподвижной системы координат  $a, jb$  во вращающуюся  $x, jy$ :

$$I_{1x} = I_{1a} \times \cos \omega t + I_{1b} \times \sin \omega t \quad I_{1y} = -I_{1a} \times \sin \omega t + I_{1b} \times \cos \omega t.$$

Эти сигналы являются сигналами обратных связей регуляторов тока РТ $_X$  и РТ $_Y$ .

$x, y - a, b$  – преобразователь координат, осуществляющий прямое преобразование координат (рисунок 22).

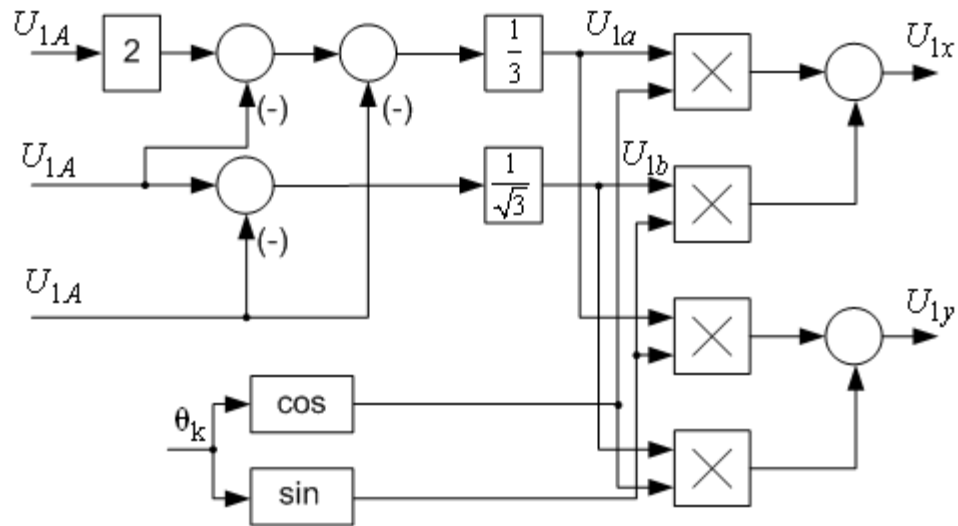


Рисунок 22 – Структурная схема прямого преобразователя координат

Прямой преобразователя координат описывается уравнениями

$$U_{1a} = \frac{1}{3} \times (2 \times U_{1A} - U_{1B} - U_{1C});$$

$$U_{1b} = \frac{1}{3} \times (U_{1B} - U_{1C}).$$

$U_{1a}$ ,  $U_{1b}$  – напряжения, представленные в неподвижной системе координат.

$$U_{1a} = U_{1x} \times \cos w_k - U_{1y} \times \sin w_k; \quad U_{1b} = U_{1x} \times \sin w_k + U_{1y} \times \cos w_k.$$

$U_{1x}$ ,  $U_{1y}$  – напряжения, представленные во вращающейся системе координат;

$w_k$  – угол поворота координатной системы.

Обратный преобразователь координат (рисунок 23)

Обратный преобразователь координат описывается уравнениями

$$i_{1a} = i_{1x} \times \cos w_k - i_{1y} \times \sin w_k; \quad i_{1b} = i_{1x} \times \sin w_k + i_{1y} \times \cos w_k.$$

$i_{1a}$ ,  $i_{1b}$  – токи, представленные в неподвижной «двухфазной» системе координат.

$$i_{1A} = i_{1a}; \quad i_{1B} = -\frac{1}{2} \times i_{1a} + \frac{\sqrt{3}}{2} \times i_{1b}; \quad i_{1C} = -\frac{1}{2} \times i_{1a} - \frac{\sqrt{3}}{2} \times i_{1b}.$$

$i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}$  – токи в трехфазной системе координат.

$a, b, c$  – A, B, C – преобразователь координат, формирующий напряжения управления:

$$U_{yA} = U_{ya}; \quad U_{yB} = -\frac{U_{ya}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \times U_{yb}; \quad U_{yC} = -\frac{U_{ya}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \times U_{yb}$$

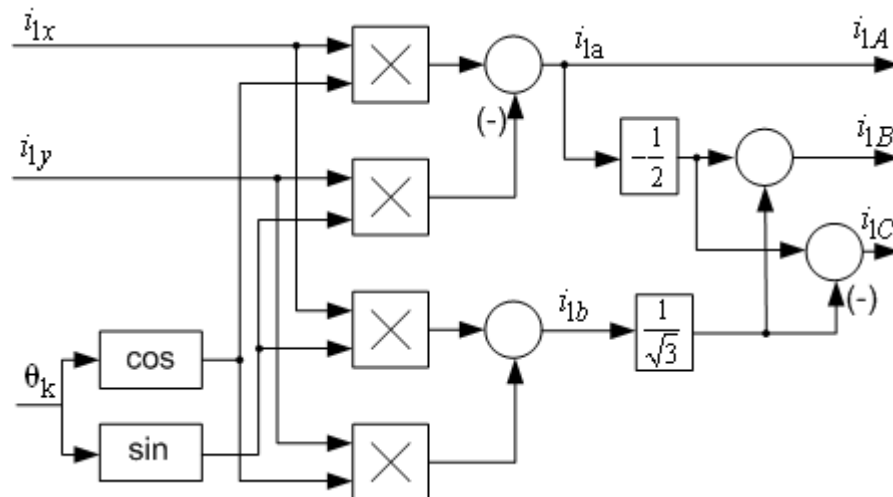


Рисунок 23 – Структурная схема обратного преобразователя координат

## 2.8 Разработка контура положения

### 2.8.1 Оптимизация контура положения

Электропривод заслонки представляет собой сложную многоконтурную структуру автоматического регулирования, замкнутую по положению.

Структурная схема контура положения представлена на рисунке 24.

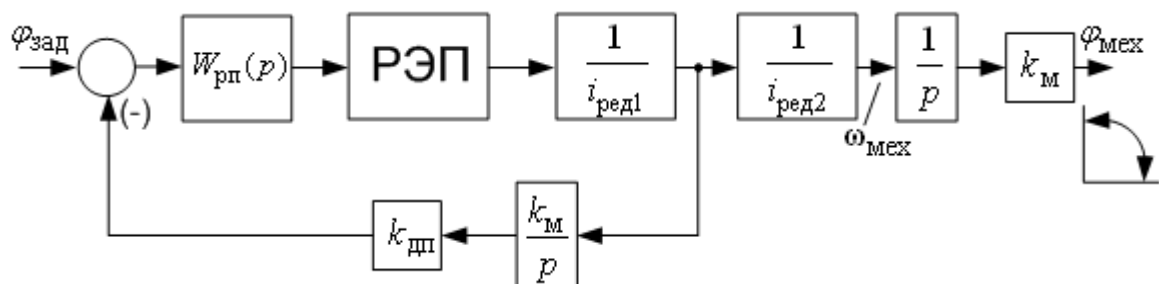


Рисунок 24 – Структурная схема контура положения

Схема включает регулируемый электропривод (РЭП), датчик положения с коэффициентом усиления  $k_{дп}$ , установленным на механизме с соотношением передаточных чисел  $i_{ред1} = 650$ ,  $i_{ред2} = 4$  и регулятор положения с передаточной функцией  $W_{рп}(p)$ .

Оптимизируемая структурная схема имеет вид (рисунок 25).

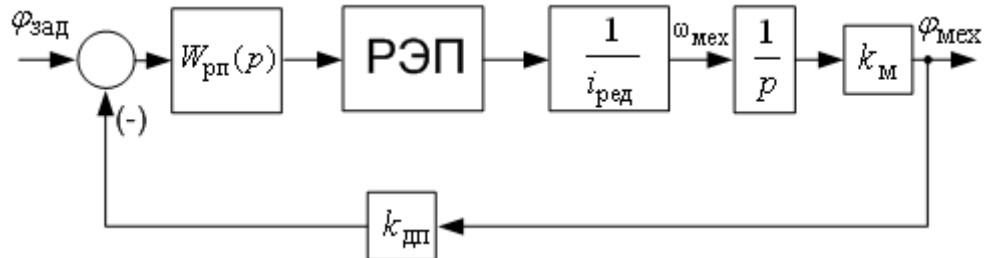


Рисунок 25 – Оптимизированная структурная схема контура положения

При оптимизации контура положения внутренний оптимизированный контур скорости представим аperiodическим звеном первого порядка с передаточной функцией:

$$W_{рэп}(p) = \frac{1}{T_m p + 1} \cdot \frac{k_c}{k_c}.$$

Таким образом, контур положения содержит инерционное звено первого порядка с малой постоянной времени  $T_m$ , пропорциональные звенья и интегрирующее звено. Для обеспечения астатизма второго порядка (нулевой скоростной ошибки) настройку осуществляем на симметричный оптимум, с учётом параметров контура выбираем ПИ-регулятор положения с передаточной функцией:

$$W_{рп}(p) = k_{рп} \times \frac{T_{рп} p + 1}{T_{рп} p},$$

где  $k_{рп} = \frac{k_c}{k_M \times k_{дп} \times k_{пр} \times a_{п} \times T_{мт}}$  – коэффициент усиления регулятора положения;

$T_{\text{мт}} = b_c \times a_c \times a_T \times T_{\text{мт}} = 2 \times 2 \times 2 \times 0.0003958 = 0.0045 \text{ с}$  – малая постоянная времени контура;

$k_{\text{п}} = 1.852$  – коэффициент обратной связи контура по положению;

$a_{\text{п}} = 2$  – коэффициент оптимизации контура положения на СО;

$$T_{\text{рп}} = 4 \times T_{\text{мт}} = 4 \times 0.0045 = 0.018 \text{ с};$$

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_c}{k_{\text{м}} \times k_{\text{п}} \times k_{\text{пр}} \times a_{\text{п}} \times T_{\text{мт}}} = \frac{0.048}{3437.7 \times 1.852 \times 3.906 \times 10^{-4} \times 2 \times 0.0045} = 2.145.$$

Упрощенная передаточная функция контура положения при его настройке на симметричный оптимум имеет вид:

$$W_{\text{п раз}}(p) = \frac{4 \times T_{\text{мт}} p + 1}{8 \times T_{\text{мт}}^2 \times p^2 \times (T_{\text{мт}} p + 1)} - \text{передаточная функция разомкнутого}$$

контура положения;

$$W_{\text{п зам}}(p) = \frac{4 \times T_{\text{мт}} p + 1}{8 \times T_{\text{мт}}^3 \times p^3 + 8 \times T_{\text{мт}}^2 \times p^2 + 4 \times T_{\text{мт}} p + 1} - \text{передаточная функция}$$

замкнутого контура положения.

Исследования на имитационной модели и окончательный подбор коэффициентов САУ СЭП проведем для 2-х настроек контура положения, а именно с П и ПИ регуляторами.

Структурная схема системы автоматического управления следящего электропривода представлена на рисунке 26. Имитационная модель, соответствующая структурной схеме, приведена на рисунке 27.

Все графики переходных процессов сняты при установившемся потокосцеплении двигателя, график изменения во времени которого представлен на рисунке 28. С целью упрощения и наглядности, в дальнейших графиках кривая  $Y(t)$  не приводится.





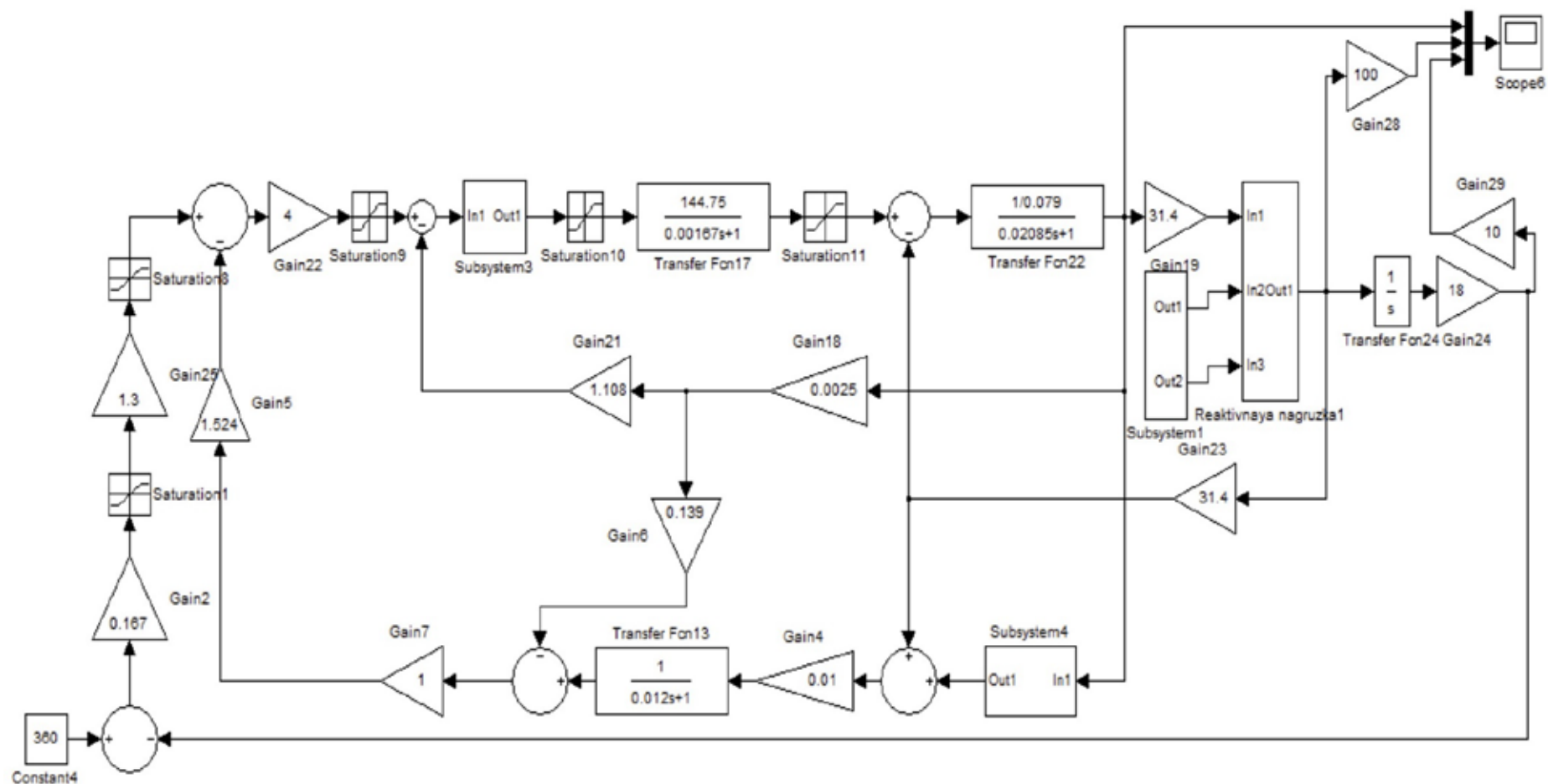


Рисунок 24—Схема набора имитационной модели электропривода ножниц среде MATLAB SIMULINK

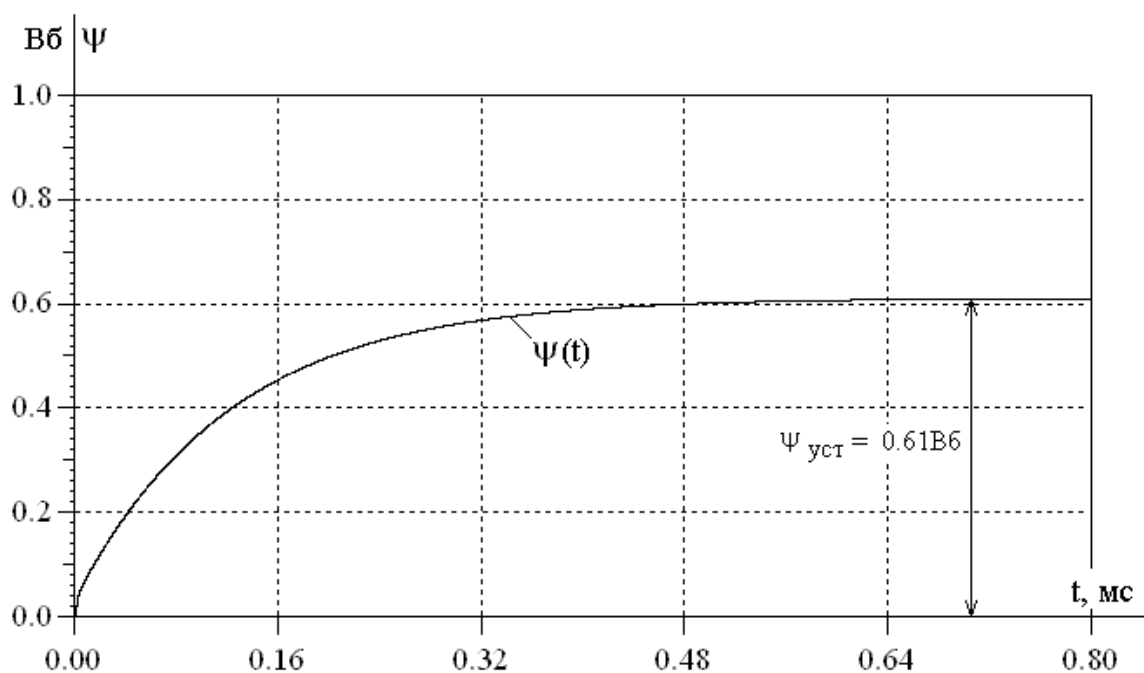


Рисунок 28 – Изменение потокосцепления двигателя во времени

На рисунке 29 приведены графики переходных процессов тока  $i(t)$ , момента  $M(t)$ , скорости вращения вала  $\omega(t)$  и угла  $\phi(t)$  при отработке угла задания  $\phi_{\text{зад}} = 20$  дискр.

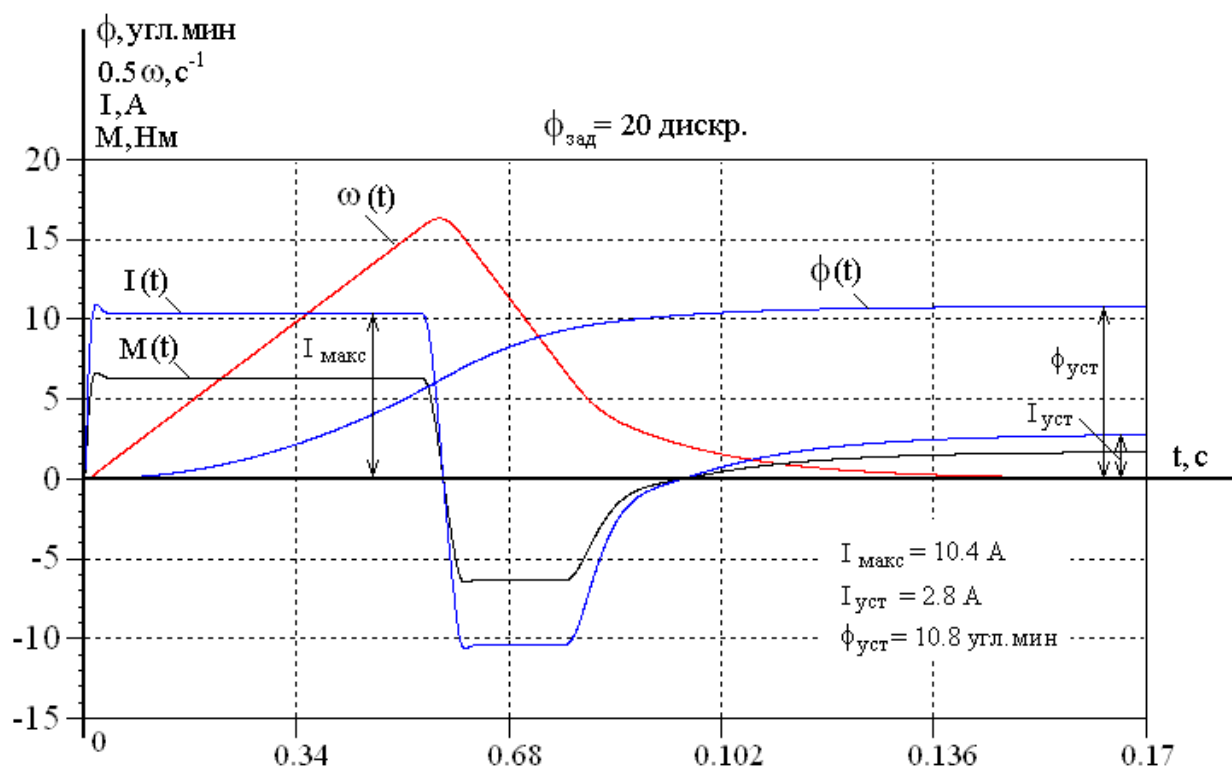


Рисунок 29 – Переходные процессы тока  $i(t)$ , момента  $M(t)$ , скорости вращения вала  $\omega(t)$  и угла  $\phi(t)$  при отработке угла задания  $\phi_{\text{зад}} = 20$  дискр

Как видно из рисунка 29, при угле задания  $\phi_{\text{зад}} = 20$  дискр. угол  $\phi$  достигает значения  $\phi_{\text{уст}} = 10.8$  угл.мин (коэффициент обратной связи  $k_{\text{п}} = 1.85$ ), ток ограничивается на допустимом для данного преобразователя уровне 10.4 А.

При угле задания 100 дискр. графики переходных процессов представлены на рисунке 30.

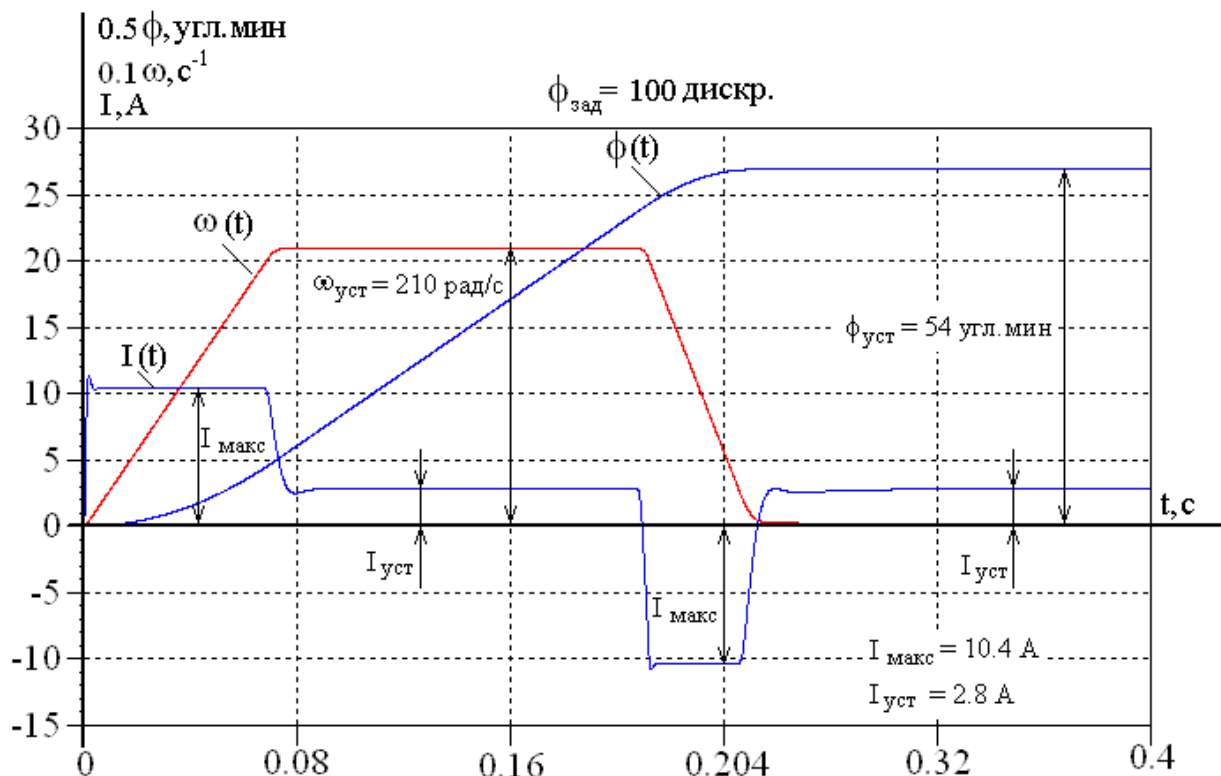


Рисунок 30 – Переходные процессы тока  $i(t)$ , момента  $M(t)$ , скорости вращения вала  $\omega(t)$  и угла  $\phi(t)$  при отработке угла задания  $\phi_{\text{зад}} = 100$  дискр.

При  $\phi_{\text{зад}} = 100$  угл. мин преобразователь частоты ограничивает максимальный ток на допустимом уровне 10.4 А, а скорость вращения вала для достижения угла, соответствующему заданию, достигает установившегося значения в 210  $\text{rad/s}$ , после отработки которого, с приближением разницы величин на входе и обратной связи к нулю, привод, достигнув  $\phi_{\text{зад}}/k_{\text{п}}$ , останавливается.

Для уменьшения рывка скорости необходимо применить задатчик с  $S$ -образной характеристикой.

### 2.8.2 Определение параметров задатчика положения

Задаемся кривой разгона  $S$  – образной характеристики, вид которой приведен на рисунке 31.

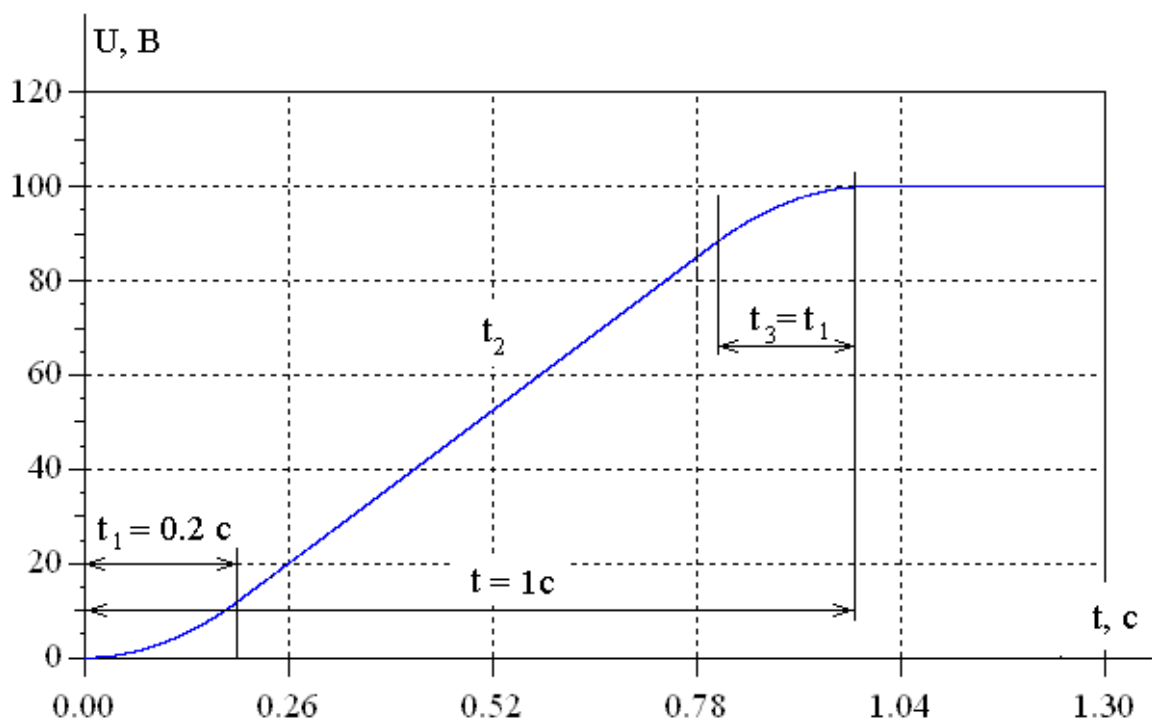


Рисунок 31 –  $S$  - образная характеристика задания

Принимаем максимальное задание равным  $X_{3.\text{макс}} = 100$  ед.

На основании имитационных экспериментов принимаем  $t_1 = t_3 = 0.2$  с,  
 $t_2 = 0.6$  с.

Максимальная скорость нарастания сигнала

$$\frac{dX_3}{dt} \Big|_{\text{макс}} = \frac{X_{3.\text{макс}}}{t_1 + t_2} = \frac{100}{0.2 + 0.6} = 125 \text{ ед/с}.$$

Максимальное ускорение

$$\frac{d^2 X_3}{dt^2} \bigg|_{\text{макс}} = \frac{\frac{dX_3}{dt} \big|_{\text{макс}}}{t_1} = \frac{125}{0.2} = 625 \text{ ед/с}^2.$$

$$X'_3 = \frac{\frac{dX_3}{dt} \big|_{\text{макс}}}{2} \times t_1 = \frac{125}{2} \times 0.2 = 12.5 \text{ ед};$$

$$X''_3 = X'_3 + \frac{dX_3}{dt} \bigg|_{\text{макс}} \times t_2 = 12.5 + 125 \times 0.6 = 87.5 \text{ ед}.$$

Таблица 9 – Параметры S - образной характеристики

$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$X_{3.\text{макс}}, \text{ед.}$	$X'_3, \text{ед.}$	$X''_3, \text{ед.}$
0.2	0.6	0.2	100	12.5	87.5

Структурная схема модели задатчика интенсивности с S - образной характеристики приведена на рисунке 32, имитационная модель в программе *WinDora* показана на рисунке 33.

Параметры имитационной модели задатчика интенсивности

$$U_{\text{огр}} = \frac{d^2 X_3}{dt^2} \bigg|_{\text{макс}} = 625; \quad U_{\text{инт.макс}} = \frac{dX_3}{dt} \bigg|_{\text{макс}} = 125 \text{ В};$$

$$k_1 = \frac{X_{3.\text{макс}} - X_3}{\frac{dX_3}{dt} \big|_{\text{макс}}} = \frac{100 - 87.5}{125} = 0.1; \quad k_2 = 1.$$

$$T_{\text{инт1}} = t_1 \times \frac{\frac{d^2 X_3}{dt^2} \big|_{\text{макс}}}{\frac{dX_3}{dt} \big|_{\text{макс}}} = 0.2 \times \frac{625}{125} = 1 \text{ с};$$

$$T_{\text{инт2}} = t_2 \times \frac{\frac{dX_3}{dt} \big|_{\text{макс}}}{X_3 - X_3} = 0.6 \times \frac{125}{87.5 - 12.5} = 1 \text{ с}.$$

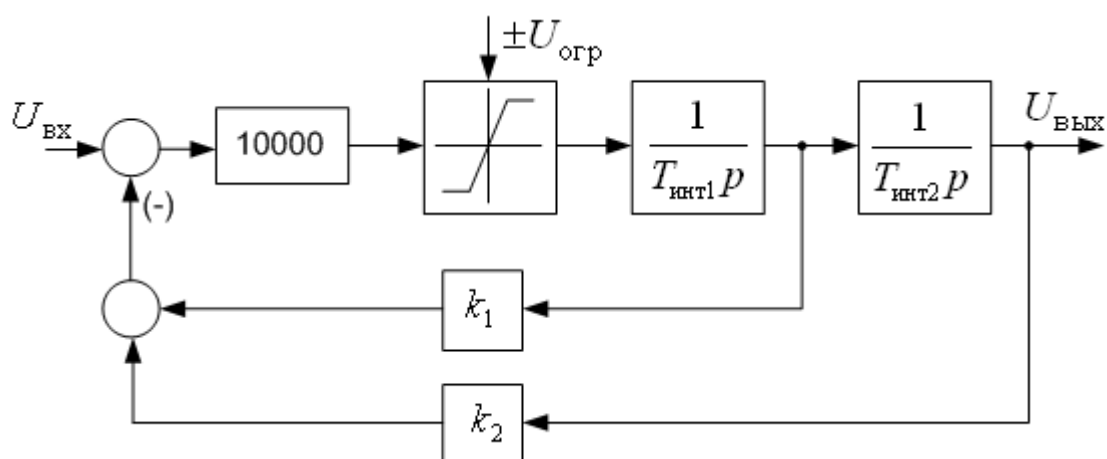


Рисунок 32 – Структурная схема задатчика интенсивности с  $S$  - образной характеристикой задания

### 2.8.3 Контур положения с задатчиком интенсивности

Исследования САУ СЭП проведем по имитационной модели приведенной на рисунке 34.

На рисунке 35 приведены переходные процессы САУ СЭП с  $\Pi$  – регулятором положения ( $k = 0.6$ ) и  $\phi_{зад} = 100$  дискр.

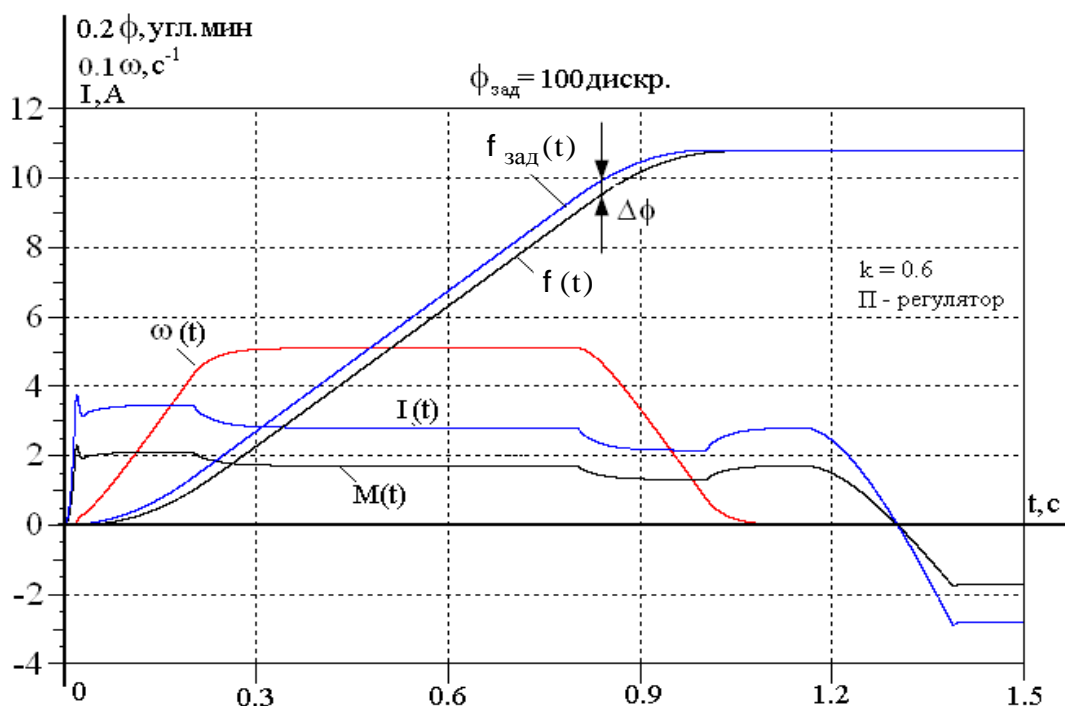


Рисунок 35 – Переходные процессы САУ СЭП с П – регулятором положения ( $k = 0.6$ ) и  $\phi_{\text{зад}} = 100$  дискр.

Как видно из рисунка 35, существует ошибка  $\Delta\phi$  положения вала на протяжении 1 с, выраженная разницей сигналов задания и положения на механизме. Эта ошибка приводит к отставанию выходной координаты от входной и является нежелательной.

Для устранения в динамике отклонения  $\Delta\phi$  величины угла, изменим настройку регулятора положения путем увеличения коэффициента усиления. Соответствующий этому изменению переходный процесс представлен на рисунке 36.

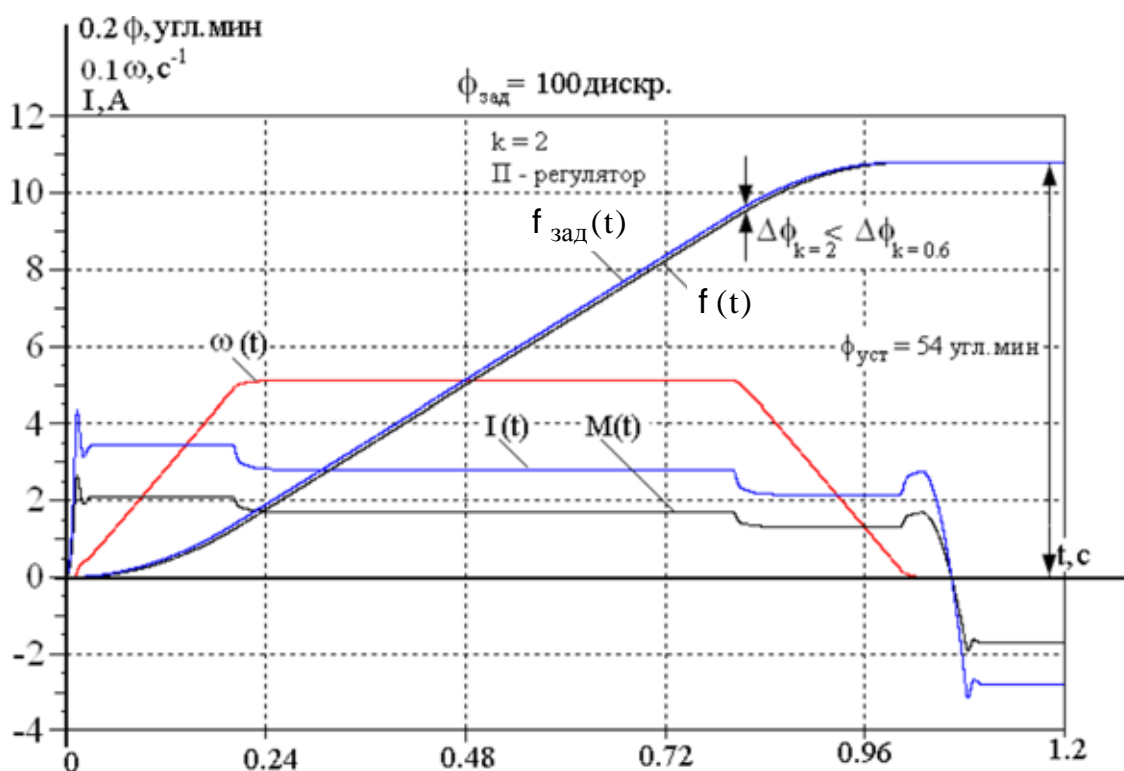


Рисунок 36 – Переходные процессы САУ СЭП с П – регулятором положения ( $k = 2$ ) и  $\phi_{\text{зад}} = 100$  дискр.

При увеличении коэффициента усиления регулятора положения, ошибка  $\Delta\phi$  стала существенно меньше, однако, не исключена полностью.

Введем интегральную составляющую регулятора при том же задании  $\phi_{\text{зад}} = 100$  дискр. Изменения в переходных процессах при различных коэффициентах показаны на рисунках 37, 38.



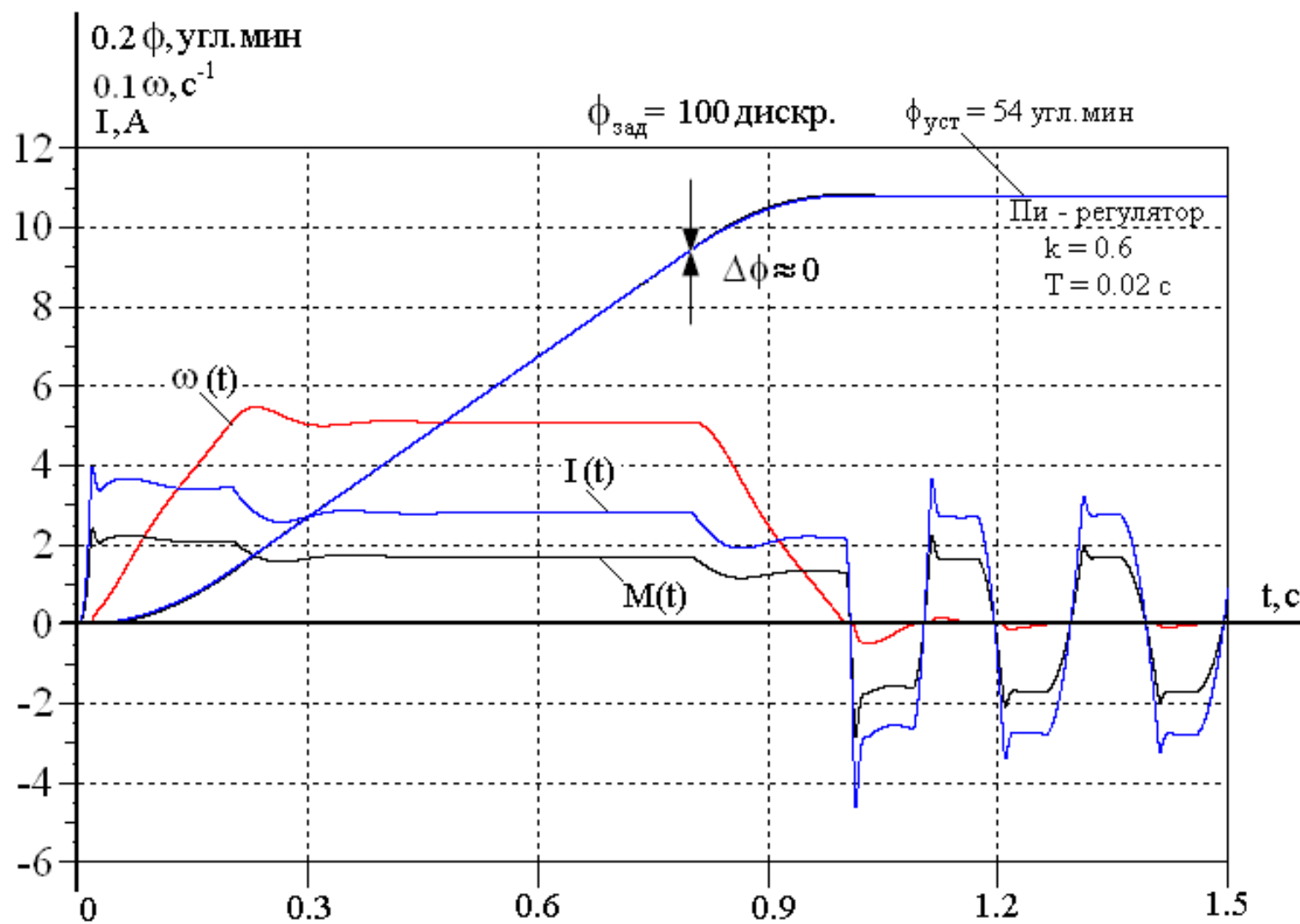


Рисунок 37 – Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором положения ( $k = 0.6$ ,  $T = 0.02 \text{ с}$ ) и  $\phi_{\text{зад}} = 100 \text{ дискр.}$

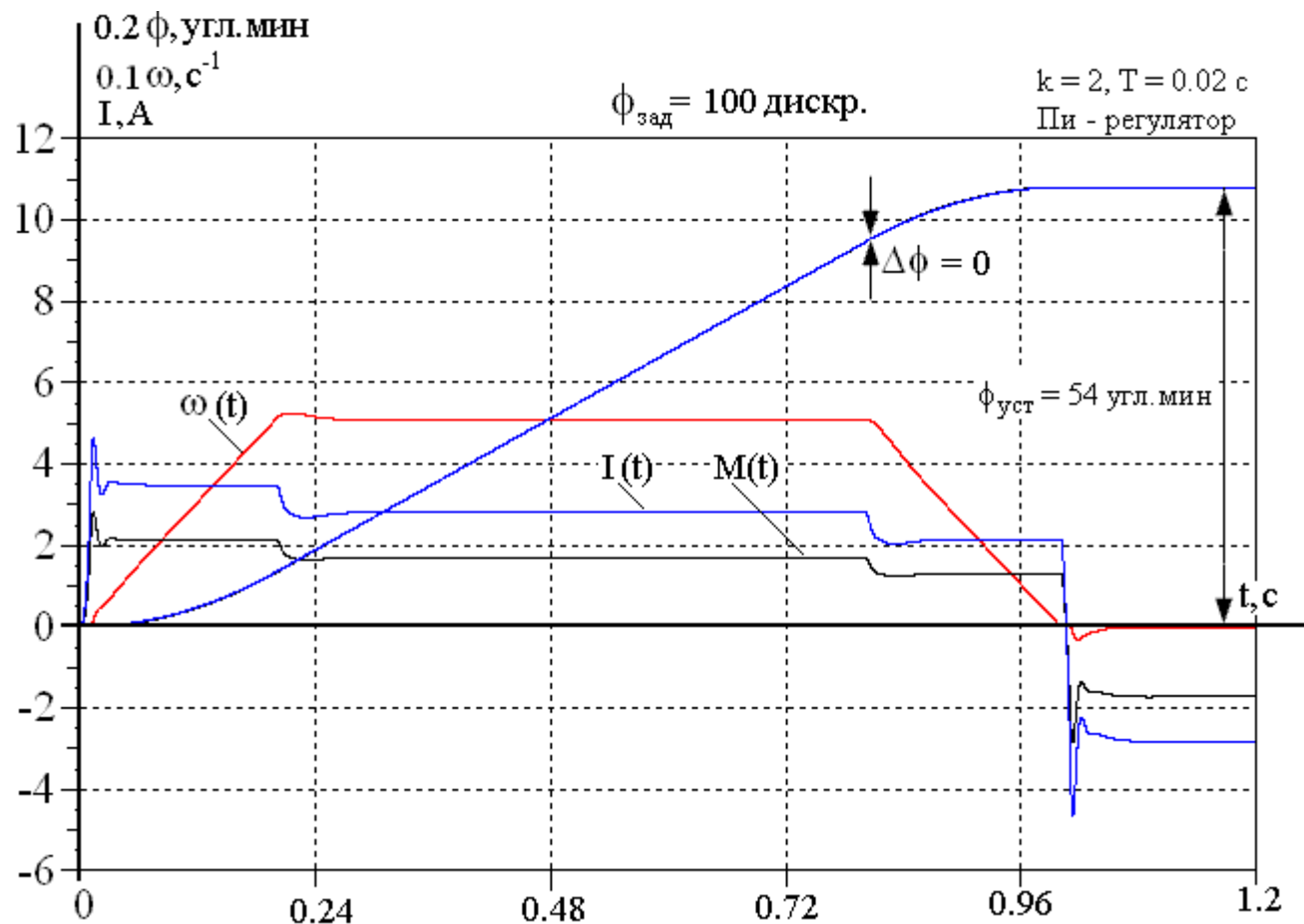


Рисунок 38 – Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором положения ( $k = 2, T = 0.02 \text{ с}$ ) и  $\phi_{\text{зад}} = 100 \text{ дискр.}$

Введение интегральной составляющей регулятора положения при коэффициенте усиления  $k = 0.6$  исключает ошибку  $\Delta\varphi$ , но приводит к длительному колебательному процессу относительно нулевой оси, что является недопустимым фактом в технологической цепи. Для окончательного устранения ошибки  $\Delta\varphi$  и колебательных процессов, принимаем коэффициент усиления  $\Pi$  - регулятора положения равным 2, а постоянную времени равную 0.02 с. Соответствующий данным параметрам переходный процесс приведен на рисунке 39.

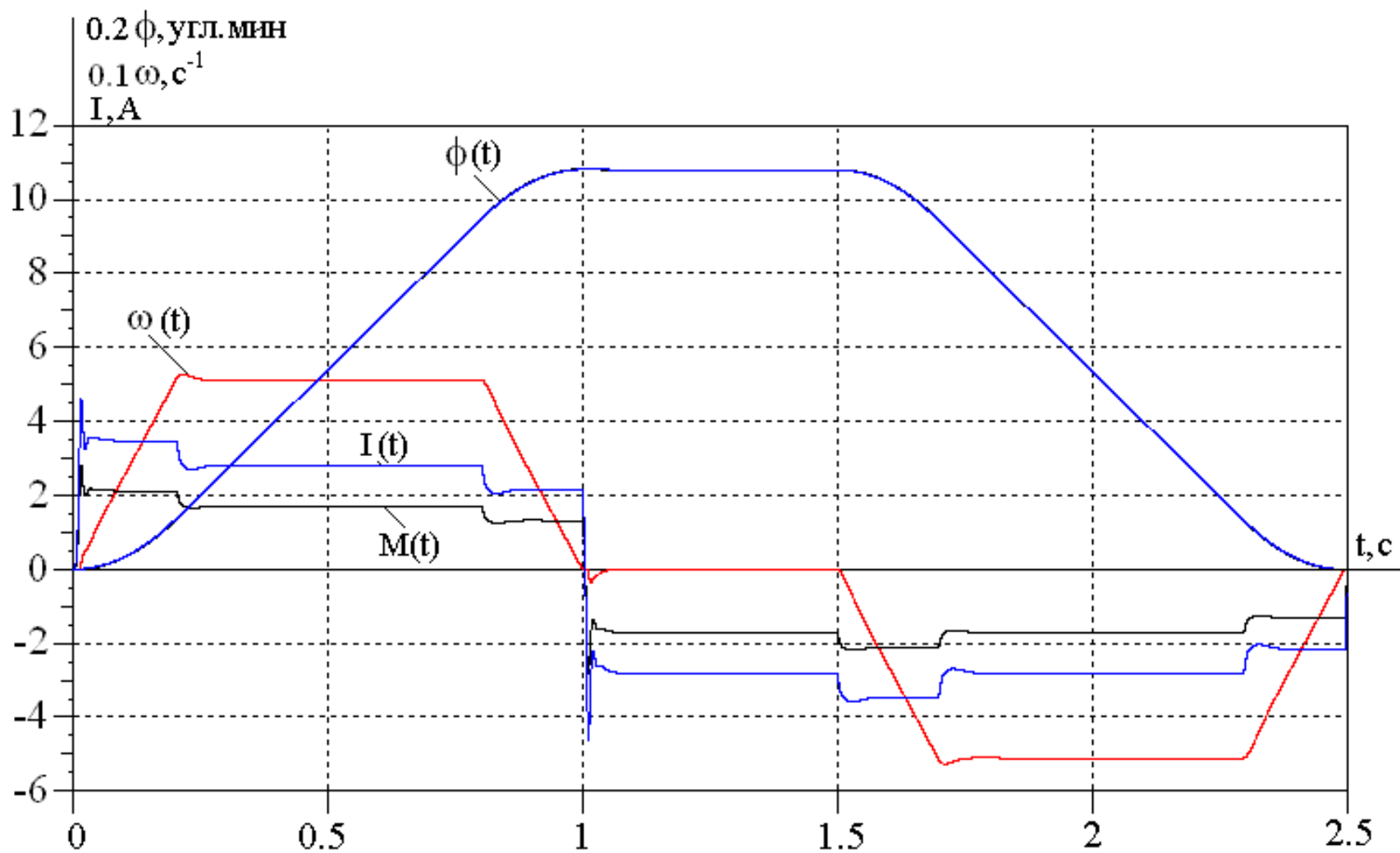


Рисунок 39 – Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором ( $k = 2$ ,  $T = 0.02$  с) и  $\phi_{\text{зад}} = 100$  дискр.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

И  
с  
х  
о  
д  
н  
ы  
е  
  
д  
а  
н  
н  
ы  
е  
  
к  
  
р  
а  
з  
д  
е  
л  
у  
  
«  
Ф  
и  
н  
а  
н  
с  
о  
в  
ы  
й  
  
м  
е  
н  
е  
д  
ж  
м

е н т ,  р е с у р с о э ф ф е к т и в н о с т ь  и  р е с у р с о с б е р е ж е н и е » :	
1 .  С т о и м о	<i>Затраты материальные определяются согласно прейскурантам. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ.</i>

с т ь  з а т р а т  т е х н и ч е с к о г о  п р о е к т а  ( Т П )	
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 74рабочий день
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2 .  П л а н и р о в а н и е	П р и  с о с т а в л е н и и  г

<i>с</i>	<i>р</i>
<i>р</i>	<i>а</i>
<i>а</i>	<i>ф</i>
<i>ф</i>	<i>и</i>
<i>и</i>	<i>к</i>
<i>к</i>	<i>а</i>
<i>а</i>	
	<i>р</i>
<i>р</i>	<i>а</i>
<i>а</i>	<i>б</i>
<i>б</i>	<i>о</i>
<i>о</i>	<i>т</i>
<i>т</i>	
	<i>п</i>
<i>п</i>	<i>о</i>
<i>о</i>	
	<i>р</i>
<i>р</i>	<i>е</i>
<i>е</i>	<i>а</i>
<i>а</i>	<i>л</i>
<i>л</i>	<i>и</i>
<i>и</i>	<i>з</i>
<i>з</i>	<i>а</i>
<i>а</i>	<i>ц</i>
<i>ц</i>	<i>и</i>
<i>и</i>	<i>и</i>
	<i>Т</i>
<i>Т</i>	<i>П</i>
<i>П</i>	
	<i>и</i>
	<i>с</i>
	<i>п</i>
	<i>о</i>
	<i>л</i>
	<i>ь</i>
	<i>з</i>
	<i>у</i>
	<i>е</i>
	<i>т</i>
	<i>с</i>
	<i>я</i>
	<i>о</i>
	<i>ц</i>
	<i>е</i>
	<i>н</i>
	<i>к</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>р</i>
	<i>у</i>
	<i>д</i>
	<i>о</i>
	<i>е</i>
	<i>м</i>
	<i>к</i>
	<i>о</i>
	<i>с</i>
	<i>т</i>
	<i>и</i>



	<i>р</i> <i>а</i> <i>б</i> <i>о</i> <i>т</i>  <i>д</i> <i>л</i> <i>я</i>  <i>к</i> <i>а</i> <i>ж</i> <i>д</i> <i>о</i> <i>г</i> <i>о</i>  <i>и</i> <i>с</i> <i>п</i> <i>о</i> <i>л</i> <i>н</i> <i>и</i> <i>т</i> <i>е</i> <i>л</i> <i>я</i>  <i>.</i>  <i>П</i> <i>о</i>  <i>п</i> <i>о</i> <i>л</i> <i>у</i> <i>ч</i> <i>е</i> <i>н</i> <i>н</i> <i>ы</i> <i>м</i>  <i>д</i> <i>а</i> <i>н</i> <i>н</i> <i>ы</i> <i>м</i>  <i>с</i> <i>о</i> <i>с</i> <i>т</i> <i>а</i> <i>в</i> <i>л</i> <i>я</i> <i>е</i> <i>т</i> <i>с</i>
--	--

	<p>я</p> <p>л е н т о ч н а я</p> <p>д и а г р а м м а</p> <p>Г а н т а .</p>
3. Составление сметы ТП	<p>П р и</p> <p>с о с т а в л е н и и</p> <p>с м е т ы</p> <p>Т П</p> <p>и с п о л ь з у е</p>

	<i>т</i>
	<i>с</i>
	<i>я</i>
	<i>с</i>
	<i>л</i>
	<i>е</i>
	<i>д</i>
	<i>у</i>
	<i>ю</i>
	<i>и</i>
	<i>а</i>
	<i>я</i>
	<i>г</i>
	<i>р</i>
	<i>у</i>
	<i>п</i>
	<i>п</i>
	<i>и</i>
	<i>р</i>
	<i>о</i>
	<i>в</i>
	<i>к</i>
	<i>а</i>
	<i>з</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>р</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>о</i>
	<i>п</i>
	<i>с</i>
	<i>т</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>ь</i>
	<i>я</i>
	<i>м</i>
	<i>:</i>
	<i>-</i>
	<i>з</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>р</i>
	<i>а</i>
	<i>т</i>
	<i>ы</i>
	<i>н</i>
	<i>а</i>
	<i>о</i>
	<i>б</i>
	<i>о</i>
	<i>р</i>
	<i>у</i>

	<div>Д О В А Н И Е ;  -  П О Л Н А Я  З А Р А Б О Т Н А Я  П Л А Т А  И С П О Л Н И Т Е Л Е Й ;  -  <i>О т ч и с л е н и я</i>  в</div>
--	---

	<p>о</p> <p>в</p> <p>н</p> <p>е</p> <p>б</p> <p>ю</p> <p>д</p> <p>ж</p> <p>е</p> <p>т</p> <p>н</p> <p>ы</p> <p>е</p> <p>с</p> <p>т</p> <p>р</p> <p>а</p> <p>х</p> <p>о</p> <p>в</p> <p>ы</p> <p>е</p> <p>ф</p> <p>о</p> <p>н</p> <p>д</p> <p>ы</p> <p>;</p> <p>-</p> <p>н</p> <p>а</p> <p>к</p> <p>л</p> <p>а</p> <p>д</p> <p>н</p> <p>ы</p> <p>е</p> <p>р</p> <p>а</p> <p>с</p> <p>х</p> <p>о</p> <p>д</p> <p>ы</p> <p>.</p>
--	---

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей);

*Диаграмма Ганта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
-----------	-----	-----------------	---------	------

		<b>звание</b>		
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич		

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является проектирование и создание технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования. В данном разделе рассчитывается сумма материальных затрат на проектирование асинхронного электропривода задвижки нефтепровода.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа;
- расчет затрат на проектные работы электропривода задвижки нефтепровода;
- планирование проектно-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

#### **3.1 SWOT-анализ асинхронного электропривода задвижки нефтепровода**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.[18]

С помощью SWOT-анализа возможно определить внутренние сильные и слабые стороны проекта, что позволяет оптимальным образом оценить его преимущества и недостатки. SWOT-анализ позволяет сформулировать внешние факторы, влияющие на развитие проекта. Возможности представляют собой предпочтительные ситуации в настоящем и в будущем, возникающие в окружающей среде проекта. В противовес возможностям определяются угрозы, представляющие нежелательную ситуацию в окружающей среде проекта, способствующую его разрушению или препятствующую развитию. Пересечения внутренних и внешних факторов позволяют определить основные исходы их сочетания, а также продемонстрировать корреляцию тех или иных внутренних факторов с различными условиями внешней, для проекта, среды.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, которая помогает выявить соответствия слабых и сильных сторон проекта, а также их возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT-анализа стоит использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 10.

Таблица 10 - Матрица SWOT-анализа технического проекта

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Высокое качество питающего напряжения С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание Оборудования	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Повышенный уровень шума Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Значительная стоимость оборудования
--	---	---

<b>Возможности:</b> В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя. В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода В3. Резервное питание электропривода шахтного вентилятора В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	В1 С1С2С3С4  В2 С2С4С5  В3 С1С2С4С5  В4 С1С3С5	В1 Сл2Сл3;  В2 Сл1Сл2  В3 Сл2Сл3.
<b>Угрозы:</b> У1. Развитая конкуренция технологии производства У2. Риск несвоевременной поставки оборудования У3. Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	У1 С5  У2 С5  У3 С4	У1 Сл3  У3 Сл2

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие.

Анализ интерактивных матриц, приведен в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Интерактивная матрица возможностей.

<b>Возможности</b>	<b>Сильные стороны проекта</b>				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	+	+	+	+	-
В2. Повышение износостойкости элементов деталей	-	+	-	+	+



электропривода					
В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора	+	+	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	+	-	+	-	+

Возможности	Слабые стороны проекта		
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования
В1. Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя.	-	+	+
В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода	+	+	-
В3.Резервное питание электропривода шахтного вентилятора	-	+	+
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	-	-	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица угроз.

Угроза	Сильные стороны проекта				
	С1. Высокое качество питающего напряжения	С2. Надежность систем защиты и аварийной сигнализации	С3. Большая экономия потребляемой эл.энергии	С4. Квалифицированный персонал	С5. Небольшие затраты на ремонт и обслуживание оборудования
У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставки оборудования	-	-	-	-	+
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	-	-	-	+	-
Угроза	Слабые стороны проекта				
	Сл1. Повышенный уровень шума	Сл2. Аварийные ситуации	Сл3. Значительная стоимость оборудования		

У1 Развитая конкуренция технологии производства	-	-	+
У2. Риск несвоевременной поставкиоборудования	-	-	-
У3 Введения дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной шахтовой инспекции	+	-	-

По результатам интерактивных матриц, приведенных в ниже, видно, что самой сильной стороной проекта является надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременное ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывают перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

### **3.2 Планирование технического проекта**

Организация работ технического проекта осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- разработка графика проведения технического проектирования.

#### **3.2.1 Определение структуры работ в рамках технического проектирования**

В данном разделе, представлен весь перечень этапов и работ, а также дано краткое описание работ, выполненных в ходе технического проектирования:

№1 – разработка технического задания (ТЗ) – представляет собой изучение первичной информации об объекте, требования к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№2 – сбор и изучение литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, в том числе области применения оборудования, касающихся различных сторон технического проекта;

№3 – сбор исходных данных – это выбор из изученных источников электрических схем соединения; параметров двигателя; параметров частотного преобразователя.

№4 – подготовка данных для ввода в базу комплекса – составление схем замещения, расчет естественных характеристик электродвигателя, расчет параметров схемы замещения;

№5 – отладка базы данных и проведение тестовых расчетов – перепроверка всех введенных значений, формул и схем;

№6 – выбор оборудования – необходимо произвести выбор оборудования из изученных ранее источников. Данная работа формируется из приводного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, частотного преобразователя и определения типа вентилятора местного проветривания;

№7 – расчёт и проверка модели АД – построение естественных механических и электромеханических характеристик в среде MATLAB при холостом пуске и пуске с нагрузкой;

№8 – расчёт и проверка модели АД-ПЧ – расчет статических характеристик системы преобразователь-двигатель, расчет и построение семейства механических  $\omega$  (Мэм) и электромеханических  $\omega$  (П1) характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты в среде MATLAB;

№9 – оформление пояснительной записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите, подготовка презентации;

№10 – сдача проекта – это заключительный этап выполнения ВКР, в котором, студент осуществляет защиту своей работы.

### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в рабочих-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $i$  тож используется следующая формула[18]

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы раб.дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы(оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Результаты расчетов продолжительности выполнения работ приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет продолжительности выполнения работ, раб.дн.

№ этапа работы	Вид работ	Исполнители	Минимально возможная трудоемкость	Максимально возможная трудоемкость	Ожидаемая трудоемкость
1	Составление ТЗ	Руководитель	1	1	1
2	Сбор и изучение	Дипломник	6	10	8

	литературы				
3	Сбор исходных данных	Дипломник	6	10	8
4	Подготовка для ввода в базу	Дипломник	6	10	8
5	Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
6	Выбор оборудования	Дипломник	2	4	3
7	Расчёт и проверка модели АД	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
8	Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	12	14	13
		Руководитель	1	1	1
9	Оформление пояснительной записки	Дипломник	5	9	7
		Руководитель	1	3	2
10	Сдача проекта	Дипломник	1	1	1
		Руководитель	1	1	1

В качестве графика инженерных работ можно использовать диаграмму Ганта (рисунок 40). Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. [18]

Исходя из диаграммы продолжительности работ, определяется участие каждого специалиста рабочей группы в разработке проекта: руководитель 7 дней, дипломник 74 дня.

Подэтапы	Исполнители	Раб. дни	Продолжительность выполнения работ							
			Март	Апрель			Май			Июнь
			3	1	2	3	1	2	3	1
1. Составление ТЗ	Руководитель	1	■							
2. Сбор и изучение литературы	Дипломник	8	■	■						
3. Сбор исходных данных	Дипломник	8		■	■					
4. Подготовка для ввода в базу	Дипломник	8			■	■				
5. Отладка данных и проведение расчетов	Дипломник	13			■	■	■			
	Руководитель	1				■				
6. Выбор оборудования	Дипломник	3					■			
7. Расчет и проверка модели АД	Руководитель	13					■	■	■	
	Дипломник	1						■		
8. Расчет и проверка АД-ПЧ	Дипломник	13							■	■
	Руководитель	1							■	
9. Оформление пояснительной записки	Дипломник	7								■
	Руководитель	2								■
10. Сдача технического проекта	Дипломник	1								■
	Руководитель	1								■

Рисунок 40 - График ПНР

### 3.3 Составление сметы технического проекта

При планировании сметы технического проекта (ТП) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования сметы ТП используется группировка затрат по следующим статьям:

- затраты на спец.оборудование;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

#### 3.3.1 Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расч i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ООО ТД БиК „Канцлер”.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Упаковка бумаги	1	320	320
Ручка	2	60	120
Папка	1	60	60
Степлер	1	130	130
Калькулятор	1	570	570
Итого			1200

### 3.3.2 Полная заработная плата исполнителей ВКР

В этом разделе включена основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп.}$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} * Т_p,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.  
(таблица 15).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{\text{допл}}$  – доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  – районная доплата, руб

$F_{\text{д}}$  – количество рабочих дней в месяце, раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Оклад	Районная доплата, руб.	Зарплата месячная, руб	Среднедневная заработная плата в день, руб	Продолжительность работ, раб. дн	Основная заработная плата, руб
Руководитель	33664	10099	43758	1683	7	11781
Дипломник	12300	3690	15990	615	74	45510
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб.						57291

Дополнительная заработная плата, составляет 12-15% от основной.

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб.	Полная заработная плата, руб
Руководитель	0,15	11781	1719	13500
Дипломник	0,12	45510	5490	51000



Итого		57291	7209	64500
-------	--	-------	------	-------

### 3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются: обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам, органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), страхование от несчастных случаев; от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:[18]

$$З_{внеб} = K_{внеб} \cdot З_{полн}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot 64,5 = 19,5 \text{ тыс. руб.}$$

### 3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

### 3.3.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции [18].

Определение затрат на технический проект приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Смета технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,2	1,18
2. Полная заработная плата исполнителей темы	64,5	63,59
3. Отчисления во внебюджетные фонды	19,5	19,23
4. Накладные расходы	16,23	16,0
5. Итого	101,42	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 74 рабочих дня для дипломника и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 101 тыс.руб., из которых значительная часть (63,59 %) составляют затраты на заработную плату.

### 3.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности: [18]

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент разработки;

$b_i$  - балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию асинхронного электропривода задвижки нефтепровода рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

- Надежность задвижки нефтепровода – это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях агрессивной атмосферы, не стабильным напряжением и высокой влажности). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, а так же дублирующего ручного управления.

- Энергосбережение задвижки нефтепровода – это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

- Материалоемкость задвижки нефтепровода – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме. При проектировании задвижки нефтепровода нужно учитывать, что его работа является непрерывно-постоянной и остановки производить только для его обслуживания. Поэтому подбор осуществлялся таким образом, что при тех же условия подобрать задвижку нефтепровода которая бы расходовал меньше энергии.

- Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электронного управления задвижки нефтепровода. Удобство ремонтпригодности электронного управления осуществляется посредством замены электронных модулей.

- Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 18.

Таблиц 18 – Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Оценка разработки
Надежность	0,25	5
Энергосбережение	0,20	5
Материалоемкость	0,15	4

Производительность	0,15	4
Удобство	0,15	5
Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4
Итого:	1,00	4,6

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,6, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и энергосбережение позволяют судить о качественной сборке системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассмотрены, раскрыты и рассчитаны следующие вопросы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: Асинхронный электропривод задвижки нефтепровода	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электропривод с частотным управлением, в качестве привода задвижки нефтепровода. Применяется организацией ОАО "АК "Транснефть"
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>- отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- запыленность;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- загазованность;</li> <li>- недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа оборудование под давлением.</li> <li>- поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.</li> <li>- Пожар</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>
<b>4. Причины чрезвычайной ситуации</b> Меры способствующие предотвращению случаев чрезвычайной ситуации	<ul style="list-style-type: none"> <li>- нарушение технического процесса транспортировки нефтепродуктов</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Ивачев Иван Сергеевич		

#### **4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Добыча и переработка нефтепродуктов становится возможной только при грамотно продуманной системе организации доставки нефти.

Нефтепровод (трубопровод для перемещения сырья) является одним из основных способов транспортировки нефтепродуктов. Нефтепровод – это сооружение инженерно-технического вида, основной функцией является транспортировка нефти и нефтепродуктов. Сооружение нефтепровода является весьма ответственной задачей.

Из-за высокого темпа потребления сегодня к трубопроводам предъявляются особые требования, так как именно они выполняют основную функцию в процессе снабжения. Ежегодно возрастает грузооборот, приходящийся на технологические трубопроводы, и на сегодняшний день он является 1/3 частью от всего грузооборота России.

Строительство и прокладка трубопровода является весьма непростой технической задачей. Помимо того, что нужно правильно провести экспертизу труб, также следует еще и качественно, герметично сварить трубы в одну длинную непрерывную нить.

#### 4.1 Правовые организационные мероприятия

Основополагающим строительным документом отрасли является ГОСТ Р 55990-2014 «Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования».

По своему назначению нефтепродуктопроводы можно разделить на следующие группы:

Промысловые — соединяющие скважины с различными объектами и установками подготовки нефти на промыслах;

Магистральные — предназначенные для транспортировки товарной нефти и нефтепродуктов из районов их добычи производства или хранения до мест потребления. Они характеризуются высокой пропускной способностью, диаметром трубопровода от 219 до 1400 мм и избыточным давлением от 1,2 до 10 МПа;

Технологические — предназначенные для транспортировки в пределах промышленного предприятия или группы этих предприятий различных веществ необходимых для ведения технологического процесса или эксплуатации оборудования.

Согласно СНиП 2.05.06 — 85 магистральные нефтепродуктопроводы подразделяются на четыре класса в зависимости от условного диаметра труб (в мм):

I — 1000—1200 включительно;

II — 500—1000 включительно;

III — 300—500 включительно;

IV — 300 и менее

Наряду с этой классификацией СНиП 2.05.07 — 85 устанавливает для магистральных нефтепроводов категории, которые требуют обеспечения соответствующих прочностных характеристик на любом участке трубопровода:



Диаметр нефтепровода, мм	до 700	и более
Категория нефтепровода при прокладке		
Подземной	IV	III
Наземной и подземной	III	III

Приведенная классификация и категории трубопроводов определяют в основном требования, связанные с обеспечением прочности или неразрушимости труб. В северной природно-климатической зоне все трубопроводы относятся к категории III. Исходя из этих же требований в СНиП 2.05.06 — 85 определены также и категории, к которым следует относить не только трубопровод в целом, но и отдельные его участки. Необходимость в такой классификации объясняется различием условий, в которых будет находиться трубопровод на тех или иных участках местности, и возможными последствиями в случае разрушения трубопровода на них.

Эксплуатировать трубопровод необходимо с особой осторожностью, поэтому возникает потребность в слежении за состоянием всей трубопроводной нити. В связи с этим одновременно с прокладкой трубопровода осуществляется монтаж линии связи и датчиков, которые позволяют следить за состоянием труб и прочих элементов системы.

На расстоянии 150 километров располагается обеспечивающая движение сырья насосная станция. Мощный насос позволяет быстро транспортировать тонны нефти. Но помимо главного насоса в насосной станции установлен также резервный, и он может начать свою работу в любое время. Все станции оснащены резервуаром с пропускной способностью не менее 0,3 от суточной нормы. А так же в процессе транспортировки используются системы для снижения давления на выходе нефтеперекачивающей насосной станции.

Использованием «системы автоматического регулирования давления» - есть ответственный узел в транспортировки нефтепродуктов и является объектом исследования.

### **Система регулирования давления нефтепровода.**

Назначение –для стабильной работы дальнейшего технологического процесса, необходимо поддерживать давления не менее установочного значения. Регулирование давления «дресселированием» осуществляется регулируемыми клапанами, вносящими дополнительное сопротивление потоку жидкости.

Для эксплуатации и поддержания надежной, без аварийной, работы системы задвижки нефтепровода, а так же автоматики управления электропривода регулирования, необходимы определенные условия помещения, которое относится к первому классу, без повышенной опасности, сухое не запылённое. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени. Высота стен помещения обеспечивает хорошую освещённость.

## **4.2 Производственная безопасность**

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Перечень опасных и вредных факторов представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	

1. Отклонение параметров микроклимата	-	+	+	Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в помещении должны соответствовать ГОСТ 12.2.130-91
2. Наличие в воздухе вредных примесей	-	+	+	Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГОСТ 12.1.005
3. Недостаток необходимого освещения	+	+	+	Нормы освещенности должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 55710-2013.СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.
4. Поражение электрическим током	-	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
5. Оборудование под давлением	-	-	+	<a href="#">ГОСТ 25.101-83</a> Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций
6. Взрывопожароопасность	-	-	+	Правила пожарной безопасности при эксплуатации магистральных нефтепроводов ВППБ-01-05-99 взрывопожароопасность ГОСТ 12.1.004—76, и другими действующими нормативными документами.

#### 4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

**Отклонение параметров микроклимата.** При проведении работ происходит выделение диоксида углерода, паров влаги и тепла от работника. Также следует учесть условия солнечной инсоляции, которые в летнее время года приводят к избыточному теплу, особенно в летнее время года, а при проведении работ в зимнее время, напротив, возможен недостаток тепла.

Система отопления - водяная, со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочем помещении должны соответствовать для категорий работ по тяжести Іб значениям, указанным в таблице 20.

Таблица 20 – Температура, влажность воздуха в помещениях

Сезон года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый период	От +21 до +24	40-60	<0,2
Холодный и переходный периоды	От +21 до +23	40-60	<0,3

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

**Перегрев.** При температуре воздуха более 30 °С и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей наступает нарушение терморегуляции организма, что может привести к перегреву организма, особенно если потеря пота в смену приближается к 5 л. Наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветного восприятия, тошнота, рвота, повышается температура тела. Дыхание и пульс учащаются, артериальное давление вначале возрастает, затем падает. В тяжелых случаях наступает тепловой, а при работе на открытом воздухе — солнечный удар. Возможна судорожная болезнь, являющаяся следствием нарушения водно-солевого баланса и характеризующаяся слабостью, головной болью, резкими судорогами.

**Охлаждение.** Длительное и сильное воздействие низких температур может вызвать различные неблагоприятные изменения в организме человека. Местное и общее охлаждение организма является причиной многих заболеваний: миозитов, невритов, радикулитов и др., а также простудных заболеваний. В особо тяжелых случаях воздействие низких температур может привести к обморожениям и даже смерти.

Повышенная влажность воздуха (более 75...85%) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокими — способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25% также неблагоприятна для человека,

так как приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей.

**Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны** не должно превышать предельно допустимых концентраций, используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций. В процессе эксплуатации нефтегазовой задвижки возможно выделение не больших количествах смесь газов, выделяющаяся из нефти, состоящая из метана, этана, пропана, бутана и изобутана, а так же растворенные в ней высокомолекулярные жидкости различного состава и фазового состояния.

**Недостаток необходимого освещения.** Недостаточная освещенность рабочей зоны может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности и существенному повышению риска травматизма.

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 Освещенность соответствует характеру зрительной работы и относиться разряду - IV Г и должна удовлетворять следующим табличным данным:

Таблица 21 - Нормы освещенности на рабочем месте

Наименование помещения	$E_{\text{экс, ЛК}}$
Рабочее место	200

Для соблюдения требуемых нор освещенности целесообразно применение дополнительных источников освещения.

#### **4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

**Опасность при эксплуатации нефтепровода под давлением** заключается в возможности его разрушения при внезапном адиабатическом расширении газов и паров (т.е. физический взрыв). Причинами повреждения нефтепровода, работающих под давлением, могут быть ошибки, допущенные при проектировании и изготовлении, дефекты материалов, потеря прочности в результате местных перегревов, превышение рабочего давления в результате отсутствия или неисправности контрольно-измерительных приборов, отсутствие или неисправность предохранительных клапанов, мембран, запорной и отключающей арматуры.

**Пожарная безопасность** является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. В процессе получения изделия на линии видимые признаки, обуславливающие возникновения пожара, отсутствуют и, следовательно, данное производство согласно можно отнести к категории В (производство, в котором применяются сгораемые вещества). Помещение относится к классу П-1. Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за таков короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Особенно опасны взрывы продуктопровода, содержащих горючую среду, т.к. осколки резервуаров даже большой массы (до нескольких тонн) разлетаются на расстояние до нескольких сот метров и при падении на здания, технологическое оборудование, емкости вызывают разрушения, новые очаги пожара, гибель людей.

## **Поражение электрическим током**

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

### **4.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

Организация современного производства немыслима без четкого соблюдения норм, правил безопасности и производственной санитарии. В решении этих вопросов должны участвовать все, кто создает и осваивает новые технику и технологию, кто контролирует их соответствие требованиям системы стандартов безопасности труда (ССБТ), гигиены и психологии труда. Организационно-технические средства обеспечения безопасности защищают человека от производственных травм и профессиональных заболеваний.

*Для обеспечения допустимых параметров микроклимата необходимо использование вентиляции и отопления. Вентиляция в помещении применяется, как правило, приточно - вытяжная с использованием осевого вентилятора. Отопление осуществляется с помощью электрических нагревательных приборов. В новейших разработках получила применение система кондиционирования воздуха.*

*Электропоражение персонала, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При*

разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Основные мероприятия по электробезопасности направлены на то, чтобы полностью исключить электротравмы. Это достигается таким устройством электроустановки, при котором ее токоведущие части недоступны для случайного прикосновения благодаря ограждению, расположению на недоступной высоте, блокировкам и т. д. Защитное заземление при повреждении изоляции и переходе напряжения на части металлической конструкции электроустановки автоматически отключает поврежденное электрооборудование или снижает напряжение на частях конструкции до безопасной величины.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76. Для защиты персонала от поражения электрическим током используются следующие меры: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защита от случайного прикосновения; защитное заземление; защитное отключение; зануление.

Кроме того, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В рекомендуется использовать диэлектрические



перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

Все средства защиты от воздействия вредных и опасных факторов производственной среды подразделяются на два больших класса: средства индивидуальной защиты (СИЗ) и средства коллективной защиты.

К индивидуальным средствам защиты относятся, например СИЗ органов дыхания, специальная одежда, средства защиты рук и ног, средства защиты глаз, лица и головы, средства защиты органов слуха. Для защиты от поражения электрическим током применяются диэлектрические средства защиты. Для защиты от вредных и ионизирующих излучений служат специальные индивидуальные средства защиты.

К коллективным средствам защиты относятся, например, знаки безопасности, предупредительные плакаты для электроустановок, предупреждающая окраска, знаки опасности и т.д.

*Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности,*

Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. Взрывопожароопасность — по ГОСТ 12.1.004—76. Нефти имеют класс опасности II

1) назначать ответственных лиц за пожарную безопасность трубопроводных объектов, здания, основное и вспомогательное оборудование.

2) обозначить категорию по взрывопожарной и пожарной опасности всех производственных и складских помещений.

3) разработать план ликвидации возможных пожаров и проводить их практическую отработку.

4) обеспечить организации пожарный, огнетушащими средствами, обеспечить их сохранность и содержание в исправном состоянии, а также доступ в любое время суток к месту их расположения;

5) создать пожарно-техническую комиссию (ПТК) в каждой организации, добровольную пожарную дружину (ДПД) - на всех трубопроводных объектах и обеспечить их регулярную работу.

6) сообщать в органы местного самоуправления о случаях проведения строительных работ сторонними организациями с нарушениями норм минимально допустимых расстояний до трубопроводных объектов.

7) организовать проведение противопожарного инструктажа и занятий по пожарно-техническому минимуму.

#### **4.3 Экологическая безопасность**

Современные системы магистрального трубопроводного транспорта нефти и газа за время своей эксплуатации подвергаются значительным нагрузкам как вне, так и внутри, что приводит к существенным авариям с выбросом нефтепродуктов, и, как следствие, к загрязнению окружающей среды и нанесению вреда здоровью людей.

Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центра, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Службой экологической безопасности и рационального природопользования нефтепроводного управления проводится постоянный мониторинг источников загрязнения и объектов природной среды. Составной частью эколого – аналитический контроль, основной задачей которого является получение и передача руководству экологической службы

информации о качественном и количественном содержании контролируемых вредных веществ по любому источнику загрязнения всех подразделений организации природоохранной деятельности.

В основе отчета по мониторингу лежат данные количественных химических анализов и инструментальных замеров, проводимых аккредитованной эколого-аналитической лабораторией.

Контроль качества питьевой воды из распределительной сети и артскважин проводится согласно «Рабочих программ по производственному контролю питьевой воды», согласованных с территориальными Центрами Гигиены и Эпидемиологии.

Аналитический обзор данных инструментальных замеров и результатов количественного химического анализов объектов контроля является базой для составления планов перспективных мероприятий по снижению выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду.

#### **4.4 Причины ЧС и меры способствующие предотвращению ЧС**

Наиболее значимым причинам аварийных отказов на линейной части магистральных нефтепроводов, которые могут привести к разгерметизации трубопроводов с выбросом большого количества нефти и нефтепродуктов, относятся:

- некачественное выполнение монтажных стыков, механические повреждения трубы (вмятины, царапины, задиры), нанесенные при строительстве;

- сквозные пробоины трубопровода, повреждения запорной арматуры, вантузов, манометрических приборов, а также повреждения в процессе капитального ремонта нефтепровода;

— дефекты в металле труб, некачественная заводская сварка трубных швов, дефекты запорной арматуры и соединительных деталей трубопровода;

— внутренняя коррозия вследствие перекачки обводненной нефти и нефти с агрессивными компонентами, сплошная равномерная и неравномерная внешняя коррозия, возникающая вследствие естественного старения изоляционного покрытия или некачественного нанесения изоляции при строительстве;

— прочие причины, включая ошибки при эксплуатации.

Кроме разгерметизации трубопроводов по вышеприведенным причинам возможны прорывы трубопроводов из-за нарушений технологии перекачки ввиду ошибок оперативного и ремонтного персонала, остановок перекачки при резком исчезновении напряжения в сети электроснабжения.

В последнее время на магистральных нефтепроводах увеличилось число аварий, возникающих в результате внешнего механического воздействия на линейную часть нефтепровода, включающего силовое воздействие механическими средствами, несанкционированное и преднамеренное действие с целью хищения нефти. Анализ результатов расследования аварийных ситуаций, произошедших за последние годы на магистральных нефтепроводах, позволил выявить причины их возникновения. Факторами, влияющими на интенсивность аварий на магистральных нефтепроводах, согласно данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, являются:

— 37% брак строительства / изготовления;

— 18 % конструктивные недостатки;

— 18 % механическое воздействие;

— 9 % износ оборудования;

— 9 % несанкционированные врезки;

— 9 % нарушение порядка проведения опасных работ.

Наибольшее количество аварий на магистральных нефтепроводах происходит из-за брака при строительстве (37%), на втором месте -

конструктивные недостатки (18%). То есть можно сделать вывод, что причиной более 50% аварий служат факторы, которые можно устранить до ввода оборудования в эксплуатацию.

Основываясь на данныеизученных исследований и проведенный анализ, можно сделать вывод, что для предупреждения возникновения аварий на магистральных нефтепроводах и снижения их последствий,предприятиям, осуществляющим данные виды работ, необходимо проведение следующих мероприятий:

- уделять особое внимание качеству построенных объектов;
- своевременно проводить профилактические и плановые работы по выявлению различных видов дефектов оборудования, их ремонт или замену;
- осуществлять контроль выполнения правил технической эксплуатации, качественно и своевременно выполнять аварийно-ремонтные и восстановительные работы;
- соблюдать требования техники безопасности и охраны труда и проводить на регулярной основе обучение, тестирование и тренировки персонала по специальной программе обучения действиям по локализации и ликвидации аварий, а также способам защиты от поражающих факторов в чрезвычайных ситуациях.

Соблюдение и выполнение всех вышеуказанных пунктов позволит сэкономить капитальные затраты на локализацию, ликвидацию и ремонт аварий, которые могут произойти на магистральных нефтепроводах.

При выполнении данного раздела проведен анализ вредных факторов окружающей среды в производственном помещении, определены основные меры безопасности, которые могут быть применены на производстве. Поскольку безопасность персонала является одной из самых важных составляющих производственного процесса, рассмотренные меры безопасности в обязательном порядке должны быть применены в рабочем месте производственного помещения. Кроме того, меры по предотвращению ЧП и действия во время ЧП, позволяющие минимизировать ущерб и повысить

безопасность, обязаны проводиться на регулярной основе по контролю ответственных работников. Исследованы меры экологической безопасности и возможные пути минимизации ущерба окружающей среде.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В соответствии с техническим заданием в работе разработан электропривод переменного тока заслонки нефтепровода *Vanessa* 30,000. Выбран специализированный асинхронный двигатель с малой инерцией ротора, предназначенный для совместной работы с преобразователем частоты *KEB COMBIVERT 10.F5.M2B-3A10* с реализацией принципов частотно-токового векторного управления. Выполнен синтез и оптимизация контуров регулирования, разработана математическая модель системы управления и выполнены имитационные исследования, результаты которых подтвердили соответствие показателей качества ожидаемым. В целом, по результатам исследований даны практические рекомендации по настройке

контуров преобразователя частоты и соответствующие этому переходные процессы по регулируемым величинам.

Результаты аналитических и имитационных исследований доказывают, что разобранный система автоматизированного электропривода соответствует требованиям технического задания.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ данных матрицы, установил, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

- при планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и дипломника);

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект;

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

### **Список используемой литературы**

1. Комплектные тиристорные электроприводы. Справочник. Под ред. Перельмутера В.М., М: Энергоатомиздат, 1988-319с.
2. Копылов А.Г. Справочник по электрическим машинам постоянного тока.- М: Энергоатомиздат, 1988-456с.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие. Томск. ТЛИ, 1991-104С.
4. Фотиев М.М. Электрооборудование предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1980-312с.



5. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977, 391с.
6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов- Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1982-392с, ил.
7. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия черных металлов: Учебник для техникумов - 3-е изд. перераб. и доп. М.: Металлургия, 1999,-336с.
8. Шицкова А.П., Новиков Ю.В., Климкина Н.В. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии. М.: Металлургия, 1982-208с.
9. Предельно-допустимые концентрации веществ в воздухе и воде.-Л.: Химия, 1975456с.
- 10.ГОСТ 12.2.007.0 – 75 ССБТ „Изделия электротехнические. Общие требования безопасности”.
11. ГОСТ 12.1.007-76 „Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности”.
- 12.СНиП 11-33-75 „Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха”.
- 13.СНиП 23-05-95 „Естественное и искусственное освещение”.
- 14.Правила устройства электроустановок. М.: Минэнергоиздат,- 640с.
- 15.Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001.-192с.
- 16.Типовое положение о ТО и Р электрооборудования предприятий черной металлургии СССР, - Харьков, 1988.
17. Прейскурант №26-05-437 ч. 10 т.2 Министерства черной металлургии СССР - М.: 1990.
- 18.Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Технико-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению

экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

19. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

20. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176 с., ил..